



TREBALL FINAL DE GRAU



ESCOLA
POLITÈCNICA SUPERIOR
UNIVERSITAT DE LLEIDA
INSPIRING THE FUTURE

Estudiant: Jordi Pedrós i Caba

Titulació: Grau en Enginyeria Electrònica Industrial i Automàtica

Títol de Treball Final de Grau: **Millora del sistema d'orientació en un seguidor solar.**

Director/a: **Tomàs Pallejà Cabré**

Presentació

Mes: Setembre

Any: 2019

Si amb l'energia solar es poguessin fabricar
armes, n'hauríem disposat fa segles.

-Anònim-

Agraïments:

En primer lloc m'agradaria agrair aquest treball a la meva família i amics, per la paciència que han tingut i el suport que m'han donat al llarg d'aquest treball. A la meva parella, per donar-me el seu punt de vista i ajudar-me a desconnectar en els moments en el que aquest es feia costa amunt. Finalment i també molt important, donar-li les gràcies al meu tutor per ajudar-me i orientar-me quan han arribat els problemes.

ÍNDEX

1. INTRODUCCIÓ	1
1.1. ANTECEDENTS DEL PROJECTE	6
1.2. PROBLEMÀTICA	11
1.3. PROPOSTA DE MILLORA	11
2. OBJECTIUS	13
3. MATERIALS I MÈTODES	13
3.1. PROGRAMA DE CONTROL	13
3.2. FUNCIO POSICIO SOLAR	16
3.3. POSICIO DEL SEGUIDOR	18
3.4. CONTROL DE LA PLACA SOLAR	23
3.4.1. Control automàtic	23
3.4.2. Control remot	24
3.5. DESMUNTATGE INSTALACIO ANTERIOR	28
3.6. MUNTATGE DE LA NOVA INSTALACIO	29
3.6.1. Muntatge de la caixa i el microcontrolador	29
3.6.2. Connexió dels dispositius a la Protoboard	29
3.6.3. Connexió del relé de senyal de plegat	32
4. EXPERIMENTS I RESULTATS	35
5. PRESSUPOST	37
5.1. PRESSUPOST PILOT	37
5.2. PRESSUPOST EN SÈRIE	38
6. CONCLUSIONS	40
7. FUTURES MILLORES I AMPLIACIONS	41
8. BIBLIOGRAFIA	42
9. ANNEXOS	43
9.1. PROGRAMA DE CONTROL	43
9.2. FUNCIO CONTROL REMOT	45
9.3. FUNCIO POSICIO SOLAR	47
9.4. FUNCIONS POSICIO DEL SEGUIDOR	48
9.5. FUNCIO IMPRIMIR	49
9.6. TAULA DE VALORS	50
9.7. FUNCIO ORIENTACIO	53
9.8. FUNCIO CONTROL MOTORS	54
9.9. FUNCIONS TEMPORITZADORS	55
9.10. FUNCIO PLEGAR PLACA	56

1. INTRODUCCIÓ

Actualment existeixen dos grans tipus d'energies, les renovables (1) i les no renovables (2). Les energies no renovables són les que tenen reserves limitades i per tant, es disminueix la quantitat a mesura que es consumeix. Les principals són:

- **El petroli:** líquid viscos constituït per hidrocarburs (compostos formats per àtoms de carboni i hidrogen), altament contaminants.
- **El gas natural:** font d'energia fòssil compost per una mescla de hidrocarburs.
- **El carbó:** roca formada principalment per carboni.
- **L'energia nuclear:** aconseguida a partir de la fissió que s'obté al bombardejar neutrons a altes velocitats, les més comunes i utilitzades són urani-233, urani-235 i plutoni-239.

No obstant, el present projecte defensa una de les energies renovables més utilitzada, l'energia solar. Tot i això, existeixen nombroses fonts d'energia renovables. Les energies renovables més comunes que podem trobar al territori són:

- **Energia solar:** la radiació solar s'utilitza per produir electricitat o calor quan aquesta impacta sobre una placa o mòdul determinat, comunament coneguda com a placa solar.
- **Energia hidràulica:** l'aigua retinguda a embassaments o pantans a gran altura cau per gravetat a un nivell inferior, aquesta energia cinètica passa a electricitat mitjançant una central hidroelèctrica.
- **Energia del mar:** les onades del mar també poden ser una font d'energia per produir electricitat.
- **Energia eòlica:** les masses d'aire de l'atmosfera produir energia cinètica a partir d'estructures preparades, com els grans aerogeneradors.
- **Biomassa:** la matèria orgànica s'utilitza com a font d'energia heterogènia.
- **Geotèrmia:** gràcies a moviments produïts sota terra es pot produir energia elèctrica.

Si ens centrem en les dades registrades per la Comissió Europea (Figura 1–1), es pot comprovar que l'ús de les energies renovables augmenta anualment en tots els països (3).

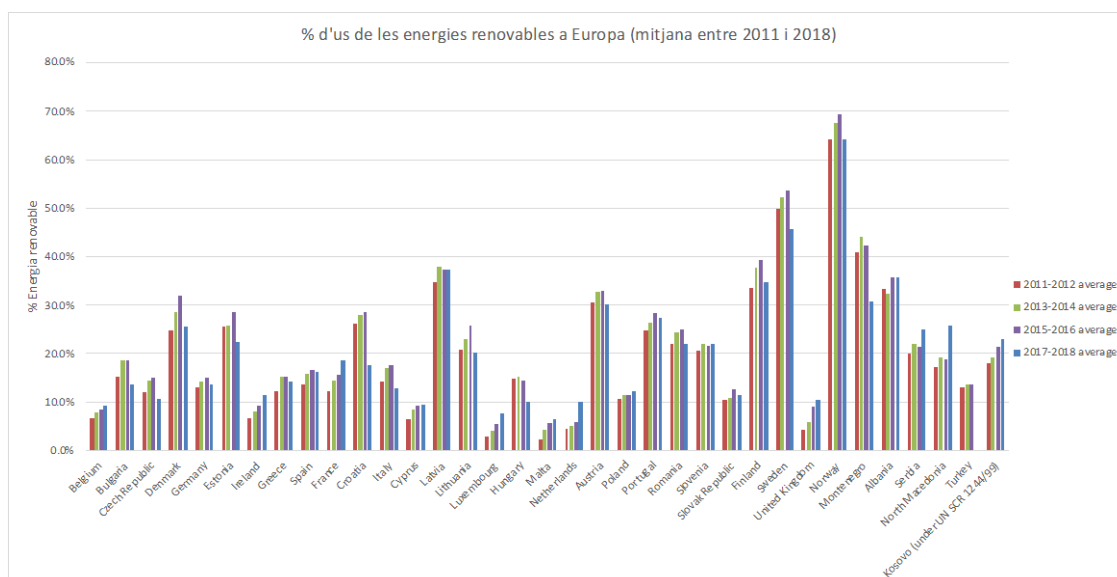


Figura 1–1 Gràfic del % d'us de les energies renovables a Europa per països (del 2011 al 2018). Dades de: European Comision (Brussel·les). (3)

Si ens centrem en els últims anys (Figura 1–2), hi ha països que superen el 30%, com és el cas de Letònia (37,4%), Àustria (30,3%), Finlàndia (34,7%), Suècia (45,8%) i com a cas molt destacable, Noruega (64,2%).

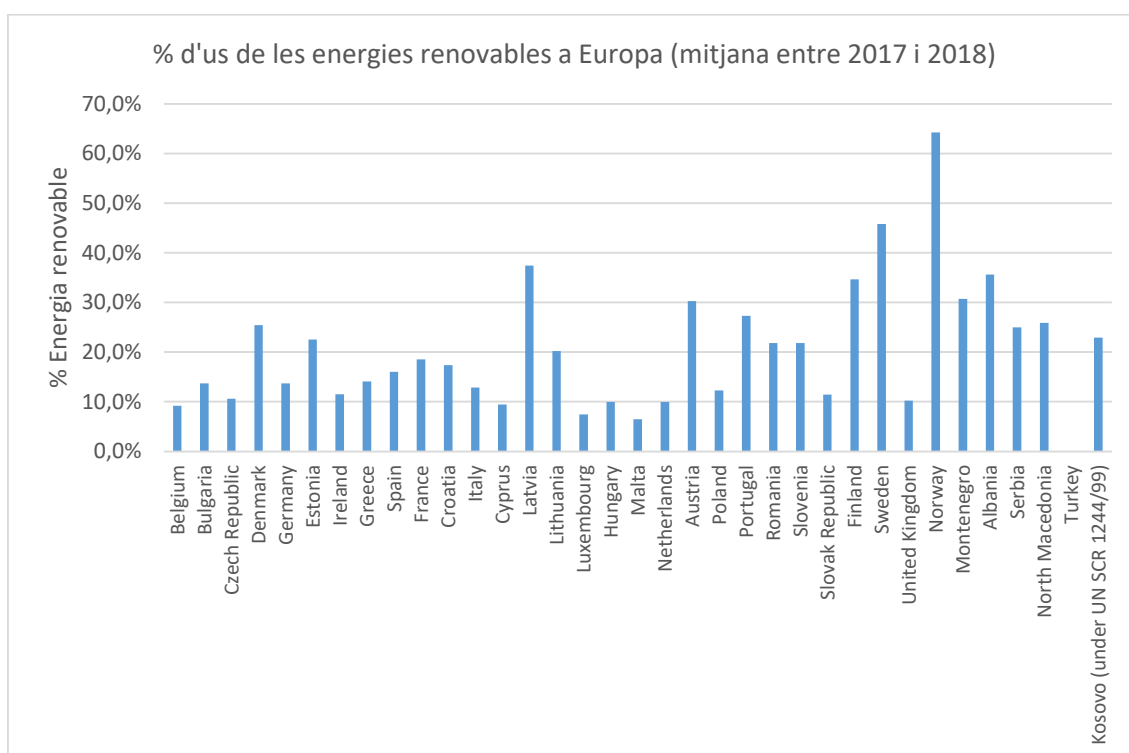


Figura 1–2 Gràfic del % d'us de les energies renovables a Europa per països (del 2017 al 2018). Dades de: European Comision (Brussel·les). (3)

Segons l'IDAE (4), la major part de l'energia renovable produïda a Espanya (Figura 1–3) es destina principalment a l'indústria extractiva, alimentaria, tèxtil, paperera i química.

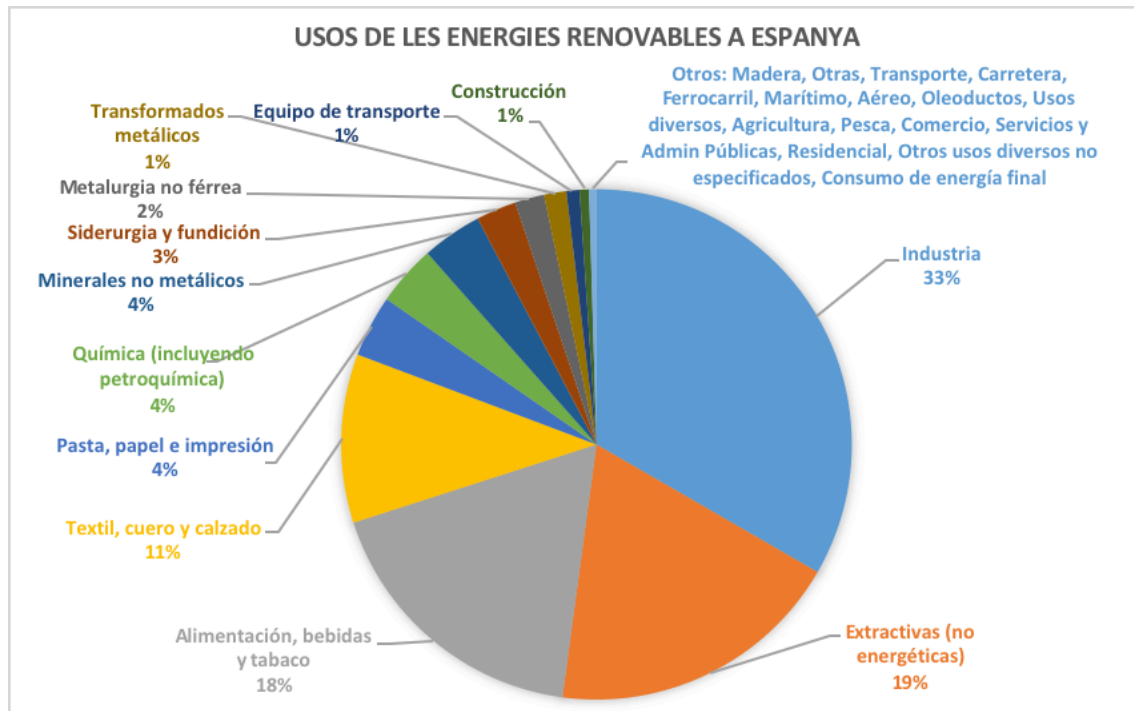


Figura 1–3 Gràfic del % d'us de les energies renovables a Espanya. Dades de: Red Eléctrica Española. (4)

Segons la Red Eléctrica Española (REE), Catalunya es la tercera comunitat autònoma que menys energies renovables utilitza (Figura 1–4). Per altra banda, i segons el *Instituto de Diversificación y Ahorro de la Energía*, l'energia solar al conjunt d'Espanya ha augmentat notablement el seu consum al llarg dels anys (Figura 1–5).

Si ens endinsem a la comunitat autònoma de Catalunya (Figura 1–6), els usos de les energies renovables no disten gairebé del gràfic de la Figura 1–5 esmentat anteriorment.

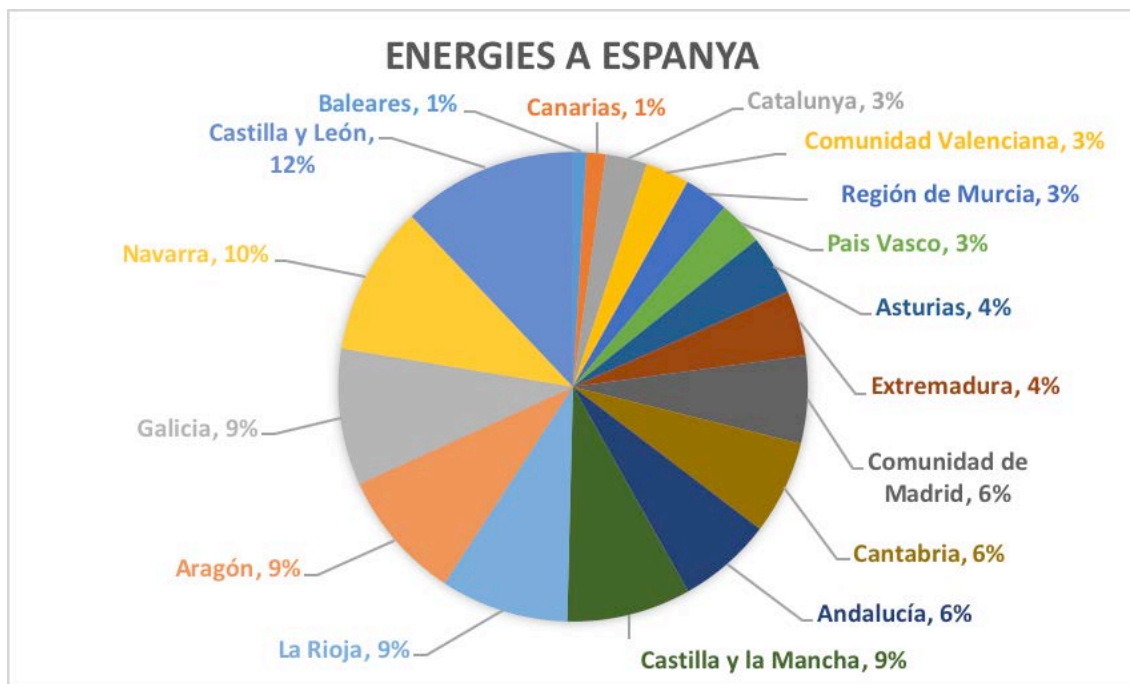


Figura 1-4 Gràfic del % d'ús de les energies renovables a Espanya (per comunitats autònomes). Dades de: Red Eléctrica Española. (4)

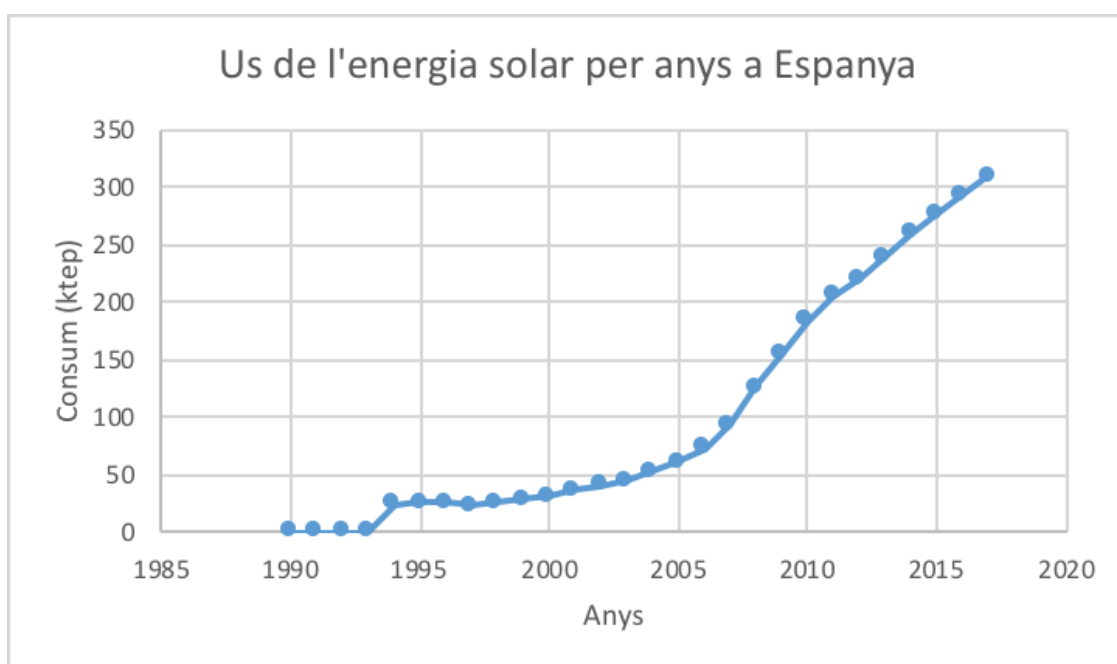


Figura 1-5 Gràfic del % d'ús de les energies renovables a Espanya (per comunitats autònomes). Dades de: Instituto de Diversificación y Ahorro de la Energía. (5)

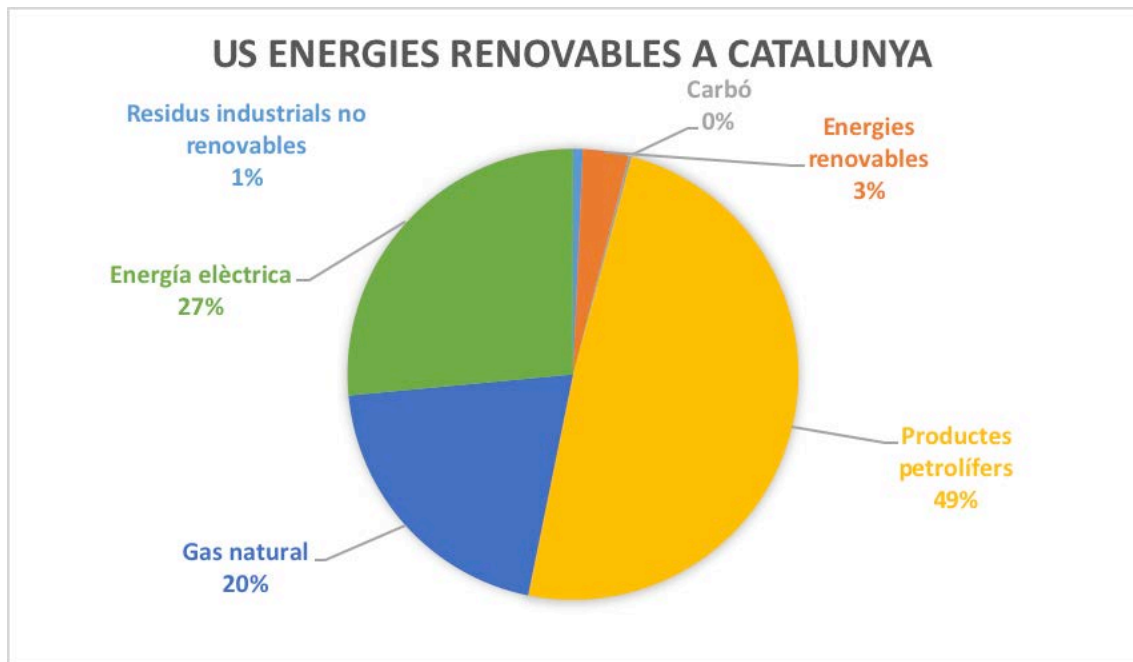


Figura 1-6 Gràfic del % d'ús de les energies renovables a Catalunya. Dades de: Institut Català d'Energia. (6)

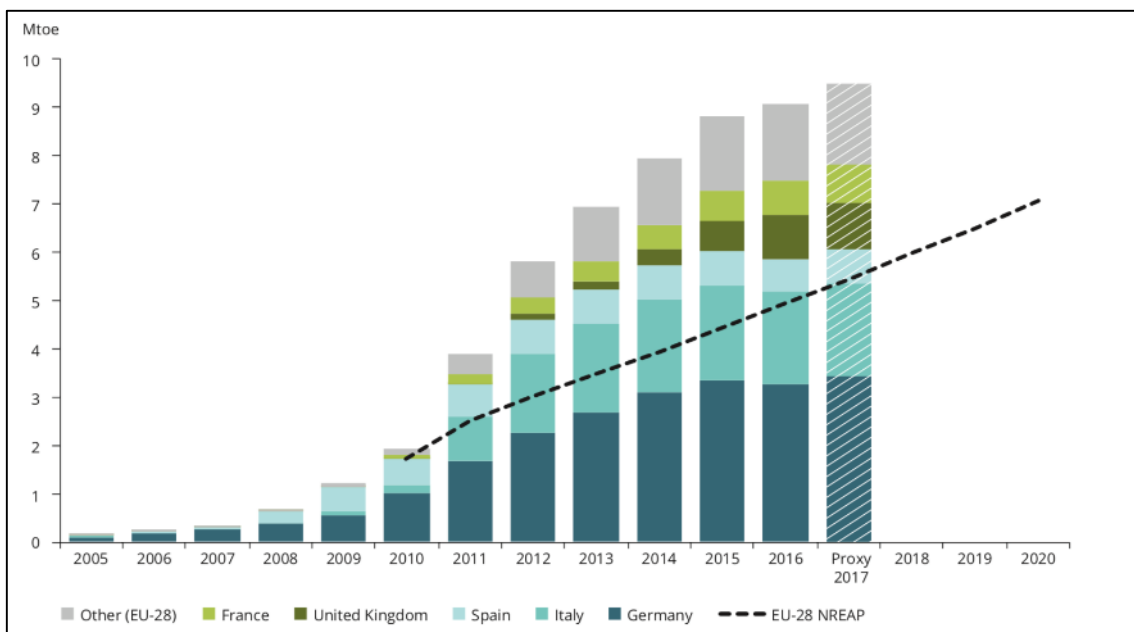


Figura 1-7 Gràfic del consum de l'energia solar a Europa per països (del 2005 al 2017). Dades de: European Comision (Brussel·les). (3)

Si ens basem en el nostre marc de energia solar, per una banda a Catalunya podem trobar diversos parcs solars (Figura 1-8).

Per altra banda, es pot comprovar que al llarg dels últims 10 anys ha anat augmentat de manera exponencial el consum d'energia solar a Europa (Figura 1-7).

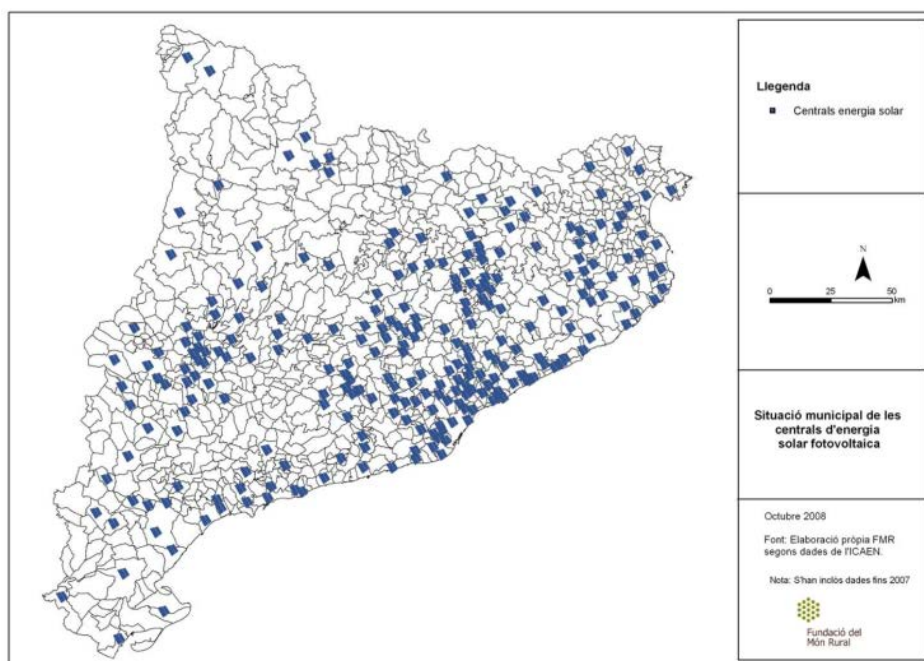


Figura 1–8 Distribució de la implantació territorial de l'energia solar fotovoltaica a nivell municipal. Dades de: Món Rural. (7)

1.1. ANTECEDENTS DEL PROJECTE

Aquest projecte es basa en un parc solar¹ existent i íntegre al terme de Linyola anomenat Agrosolar-Linyola S.L (Figura 1–9). Consta de 72 seguidors cadascun dels quals conté 45 plaques monocristal·lines² de 210w de la marca Sanyo. El parc solar té una potencia total neta de 0,8MW.

El parc té aproximadament 4,8 hectàrees repartits en 2 parcel·les vallades i separades per un camí d'accés de 2,9 i 1,89 hectàrees respectivament. Internament el cablejat i el funcionament del parc es divideix en 3, anomenats Linyola 1, Linyola 2 i Linyola 3, de 24 seguidors solars cada un.

¹ Hi ha dos tipus de parcs solars (14):

- **Parc fotovoltaic:** la energia solar fotovoltaica aprofita la energia lluminosa en energia elèctrica a partir de cèl·lules fotovoltaiques.
- **Parc solar tèrmic:** a partir de la radiació solar, s'escalfa un fluid que en funció de la seva temperatura s'utilitza per produir aigua calenta, vapor o energia elèctrica.

² Les plaques solars poden ser monocristal·lines o policristal·lines (13):

- **Plaques monocristal·lines:** estan compostes per cèl·lules del qual el seu silici prové d'un únic cristall, per tant la seva puresa i rendiment són òptims.
- **Plaques policristal·lines:** estan compostes per cèl·lules del qual el seu silici no prové d'un únic cristall de silici, sinó de molts fonsos en grup. Per aquest motiu, al no tractar-se d'un únic cristall, no és tan pur com una cèl·lula monocristal·lina i el seu rendiment sempre és inferior al de les plaques monocristal·lines.



Figura 1–9 Imatge via satèl·lit del parc solar. Dades de: Google Maps.

Els seguidors d'aquest parc solar són mòbils, de dos eixos i electró-hidràulics³ de manera que s'orienten automàticament al sol mitjançant un sistema que busca la posició del sol. Aquest sistema, té un sensor a dalt de la placa i una torre de plàstic d'uns 4 cm envoltada de quatre receptors de llum (Figura 1–10), quan la placa està totalment encarada al sol, no hi ha ombres i els quatre receptors reben la mateixa llum. El sistema de control (Figura 1–11) de les plaques del parc solar no funciona amb programari lliure, sinó que funciona amb un sistema propietari i per tant, el codi no es pot veure ni modificar, de manera que les plaques i circuits integrats que formen el sistema de control s'han de comprar al fabricant.

³ Les plaques solars poden ser fixes o mòbils (11):

- Plaques fixes: Les plaques van muntades a sobre d'uns panells que són fixes, per tant arriben al seu màxim rendiment quan el sol forma un angle de 90° respecte a ells. Segons si l'angle d'incidència augmenta o disminueix, la placa captarà menys energia solar. Fet que suposa un rendiment més baix.
- Plaques mòbils: Les plaques van muntades a sobre d'una estructura dinàmica que s'orienta cap al sol. Es tracta d'un sistema més costós.
 - **Placa mòbil d'un eix:** la placa està muntada sobre un eix que segueix la trajectòria solar des de que surt fins que es pon. No corregeix les diferències d'inclinació del sol segons les diferents èpoques de l'any. El sistema motor pot ser manual o mecànic.
 - **Placa mòbil de dos eixos:** la placa solar està muntada sobre dos eixos que segueixen la trajectòria solar des de que surt el sol fins que es pon, corregint les petites diferències d'inclinació del sol segons les diferents èpoques de l'any. El sistema motor pot ser manual o amb un motor.



Figura 1–10 Sensor de torreta amb sensors de llum.



Figura 1–11 Sistema de control del seguidor solar.

Mecànicament els seguidors es mouen mitjançant 2 pistons hidràulics, el primer inclina el seguidor i el segon, mitjançant una cremallera i un engranatge fix, fa girar el seguidor sobre si mateix (Figura 1–12).

Per donar caudal d'oli als pistons hi ha una bomba hidràulica que funciona amb un motor trifàsic de 0.75Kw que s'activa mitjançant un variador de freqüència TECO L510-201-SH1F que va connectat al sistema de control mencionat anteriorment.

Les vàlvules de la bomba són de 4 vies - 3 posicions i els solenoides de les vàlvules funcionen a 230V.



Figura 1–12 Fotografia de l'interior d'un dels seguidors del parc solar.

La energia elèctrica produïda pel parc, passa per uns transformadors i els 0,8MW que produeix el parc s'injecten directament a una línia de tensió que abasteix la població de Linyola.

De mitjana, una casa consumeix aproximadament 0,7KW, a Linyola hi viuen prop de 3.000 persones i hi han unes 1.200 cases, per tant el parc pot abastir pràcticament la totalitat de la vila (eq. 1).

$$1.200 \text{ cases} \cdot 0,7 \frac{KW}{\text{casa}} = 0,84 \text{ MW} \quad \text{Eq. 1)}$$

Els equips que converteixen el corrent continu generat a les plaques solars, al corrent altern que s'injecta a la xarxa elèctrica, es diuen inversors (Figura 1–13). Disposem de 3 inversors cada 2 seguidors de manera que hi han 36 inversors en cada parc i 108 en total. El model emprat es el SMC 5000 A de 6.000W, la empresa subministradora es SMA Iberia. Aquets seguidors disposen d'una garantia prorrogable en forma de assegurança, pagant una quota anual, es poden substituir tots els que es facin malbé independent dels anys que portin en funcionament. SMA ha aportat un bon servei tècnic segons els integrants i socis del parc solar.



Figura 1–13 Fotografia d'un dels inversors.

Els parcs disposen d'un sistema de monitoratge que controla els inversors i envia correus electrònics en cas d'avaría, també informa de la producció i disposa d'un portal web (Figura 1–14) on es pot consultar un històric de la producció. Està format per equips de SMA Iberia, model Sunny Webbox, que funcionen correctament (per aquest projecte no es necessari modificar aquest equips).

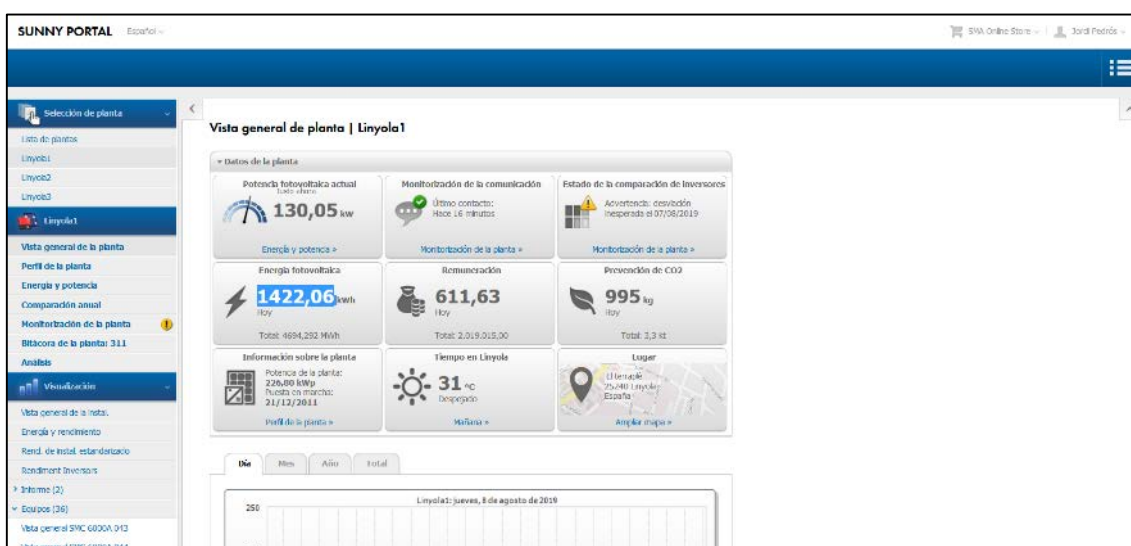


Figura 1–14 Captura de pantalla de Sunny Webbox.

El manteniment del parc en un principi el realitzava l'empresa que va dur a terme tant la planificació com l'obra d'aquest, l'empresa en qüestió és CONTROL Y ACCESOS, però degut a que la gestió realitzada al parc no era adequada ni satisfactòria pels socis, aquestes gestions les van passar a realitzar la meua família i jo, com a tècnic de equips electrònics de consum i estudiant d'enginyeria electrònica industrial i automàtica, vaig començar a veure com funcionava el parc.

1.2. PROBLEMÀTICA

La principal problemàtica d'aquest parc resideix en els sistemes d'orientació, si un dia està el cel una mica tapat o bé plou, es desorienten. La causa d'això es que el sensor de torreta esmentat en l'apartat 1.1 proporciona valors d'ombres contradictoris i els seguidors comencen a girar cap una banda i després cap a l'altra, molts cops no son capaços de tornar-se a orientar fins al dia següent. A més algunes plaques mare i sensors de torreta comencen a fallar.

El problema principal i qüestió més important pel qual s'ha dut a terme aquest projecte és que el fabricant esmentat en l'apartat 1.1 té un producte que no acaba de funcionar de la manera desitjada, obligant a anar al parc sovint a orientar les plaques mitjançant un comandament remot, cosa que provoca que a la pràctica totes les plaques solars mai estiguin alineades al sol, fet que perjudica la producció amb un descens aproximat del 30%. Tota aquesta sèrie de fets comporten una mala imatge de cara als socis.

D'altra banda, en cas de que s'hagi de substituir una placa, el fabricant ens proporciona el recanvi ràpidament, però el cost d'aquest procés i peces és més elevat del que realment hauria de ser, fet que és legal i correcte però pels clients, és a dir, per nosaltres i pels socis, no és satisfactori.

En quant a l'estat del mercat es coneix que la empresa AE3000 de Mollerussa feia instal·lacions de parcs solars fotovoltaics guiats per calendari solar però també utilitzaven sistemes i codi propietari, per tant la seva visió (Codi tancat) era molt diferent de la proposada en aquest projecte (Codi obert).

També s'han pogut trobar diversos treballs i articles que utilitzen el calendari solar per saber la posició del sol:

- *Concentrated Photovoltaic Plant Implementation At Aui* (8) utilitza una variant de la nostra funció per calcular la posició del sol (extret de la plana web *Cerebral Meltdown* (9)). Però utilitza servomotors per conèixer la posició de la placa.
- *Solar Tracking Techniques and Implementation in Photovoltaic Power Plants: a Review* (10) parla d'utilitzar també un calendari solar però utilitzant potenciòmetres per ubicar l'estat de la placa.

1.3. PROPOSTA DE MILLORA

Com a client, usuari i estudiant he decidit buscar una alternativa que funcioni de manera correcta, eficient i econòmica utilitzant plaques i circuits integrats que es poden trobar al mercat a preus molt raonables. Després d'estudiar els diferents casos s'ha arribat a la conclusió que la manera més òptima de treballar es fent que els seguidors s'orientin al

sol de forma horària, mitjançant un calendari solar i no buscant ombres com feien fins ara, per fer-ho utilitzarem 2 referències anomenades altura i azimuth (Figura 1–15) .

- L'**Altura** d'un cos celeste és la distància angular d'aquest cos fins a l'horitzó local de l'observador.
- El **Azimut** és l'angle que forma una direcció amb una altra direcció fixa que es pren com a origen, en el nostre cas el nord, mesurada sobre l'horitzó.

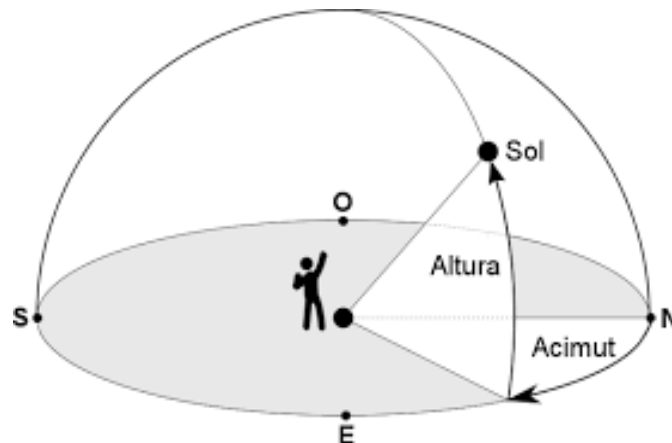


Figura 1–15 Explicació de altura i azimuth.

Per tant si tenim un programa que ens calcula la variació de l'angle de la altura i de l'angle del azimuth, podrem saber la posició actual del sol en cada moment del dia i només haurem de compara'ls amb la posició del seguidor, ordenant a la bomba fer les correccions pertinents.

En termes de sensors, per saber la posició en temps real del seguidor necessitarem un sensor d'inclinació que utilitzarem per comparar amb l'altura desitjada, un magnetòmetre per fer de brúixola i poder comparar amb l'azimut i un rellotge digital amb pila per no perdre mai la hora, inclús si falla la corrent.

2. OBJECTIUS

L'objectiu principal del projecte consisteix en millorar el rendiment d'un parc solar fotovoltaic, amb els següents subjectius:

- Càlcul de la posició solar.
- Obtenció de la posició del seguidor solar.
- Control de la posició del seguidor solar.
 - Control remot.
 - Control automàtic.

3. MATERIALS I MÈTODES

3.1. PROGRAMA DE CONTROL

Per tal de controlar l'orientació del seguidor es necessita un programa de control que s'encarregui de gestionar totes les funcions necessàries per orientar el seguidor solar. Aquest programa s'iniciarà automàticament al engegar el microcontrolador i cridarà diverses funcions cada cert temps ($T_s = 10$ min). Aquest programa correrà ininterrompudament sempre i quant no hi hagin talls de corrent i funciona de la següent manera:

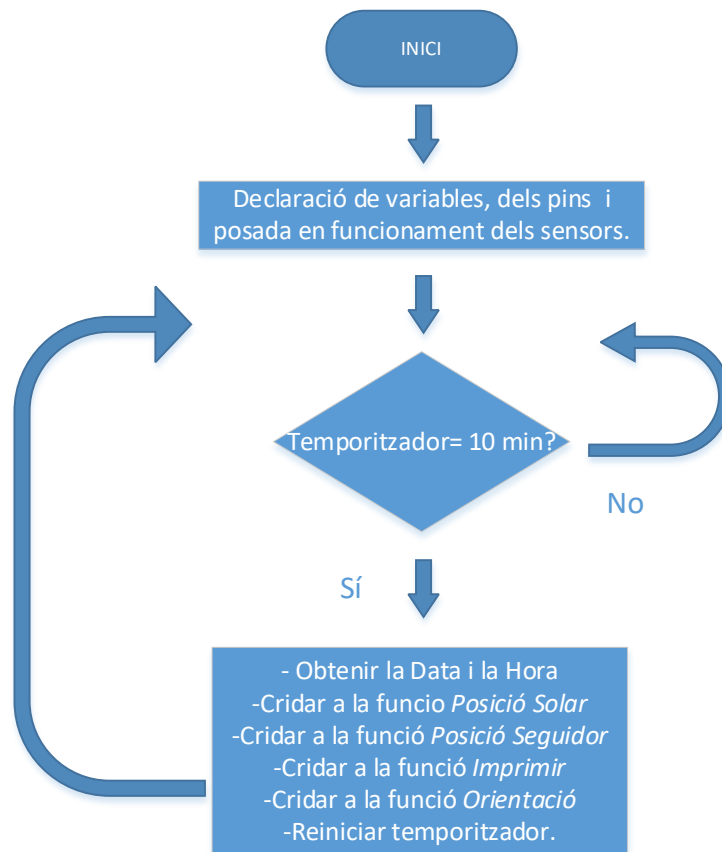


Figura 3–1 Diagrama de flux del programa de control..

Per tal de córrer aquest programa necessitarem un microcontrolador amb diversos pins de connexió que fessin d'entrades i sortides. També ha de poder treballar de forma ininterrompuda i interessaria que tingui el menor consum d'electricitat. Per aquest motiu s'ha realitzat un petit estudi recollint les avantatges i els inconvenients de una sèrie de microcontroladors:

ARDUINO DUE



Figura 3–2 Fotografia del ARDUINO DUE.

Avantatges:

- És un dels més utilitzats al món i per tant, disposa de moltes biblioteques i tutorials disponibles on-line.
- L'ús dels temporitzadors és molt més senzill.
- Disposava d'un gran nombre de pins de connexió (54 pins).

- El llenguatge de programació és molt intuïtiu.

Inconvenients:

- Té un cost elevat.
- És menys potent que els seus competidors estudiats en aquest projecte.

Preu: El cost és de 33,95€ (sense IVA ni ports).

ESPRESSIF ESP32



Figura 3-3 Fotografia del ESP32.

Avantatges:

- El processador ESP32 és superior que el del Arduino DUE. El primer té dos nuclis de 240MHz i el segon té un nucli de 80MHz.
- El ESP32 disposa de 16MB i l'Arduino DUE disposa de 0,5MB.
- El ESP32 és al voltant de 10 vegades més barat que l'Arduino DUE.
- El 90% dels codis de l'Arduino DUE són compatibles amb l'ESP32.
- Disposa de connexions Wi-Fi i Bluetooth.
- Té una mida molt reduïda respecte als competidors.

Inconvenients:

- No és tan potent com la Raspberry Pi3B+.
- Es pot programar des de l'entorn gràfic de l'Arduino però requereix d'una habilitat i d'un temps per a la seva configuració, quan d'altra banda, en l'Arduino DUE només cal seleccionar la placa.
- La qualitat és correcta, tot i que no és tan elevada com en els altres competidors directes.
- No disposa de tants pins de connexió com l'Arduino DUE (48 pins).

Preu: El cost és de 5,91€ (sense IVA ni ports).

RASPBERRY Pi3B+.



Figura 3-4 Fotografia de la Raspberry Pi3B+.

Avantatges:

- És molt més potent que els altres dos dispositius.
- Disposa de sistema operatiu propi.
- El llenguatge de programació és molt intuïtiu.
- Disposa de Wi-Fi i Bluetooth.
- Possibilitat de connectar un monitor via HDMI.
- Incorpora lector de targeta MicroSD suportant així fins a 1024GB de memòria.
- És fàcil d'aconseguir-ho en botigues d'informàtica habituals.

Inconvenients:

- No està dissenyada per a treballar continuadament sense pausa, degut a que les targetes de memòria SD es fan malbé (es cremen).
- El preu és bastant elevat.
- No disposa de tants pins de connexió com els seus competidors (40 pins).
- Té una mida superior a la dels competidors.

Preu: El cost és de 35,00€ (sense IVA ni ports).

ELECCIÓ DEL MICROCONTROLADOR

Després de estudiar tots i cadascun dels components, s'ha decidit elegir l'ESP32 ja que

- Pot treballar molt més temps que la Raspberry.
- És més potent que l'Arduino DUE,
- No necessita de sistema operatiu fet que simplifica la situació, cosa que la Raspberry sí.
- És 10 vegades més barat que l'Arduino DUE.
- El wifi i el Bluetooth donen més opcions a millora i modificació del codi, cosa que ajuda a possibles ampliacions del projecte.

3.2. FUNCIO POSICIO SOLAR

Per poder orientar el seguidor al sol de forma horària es necessita saber on es troba el sol en cada moment. Per aquest motiu cal una funció que ens calculi la posició del sol en el moment d'orientar el seguidor mitjançant el azimuth i l'altura. Aquesta funció està basada en un codi per Arduino extret d'internet en la pàgina *Cerebral meltdown* (9) el qual s'ha modificat i adaptat per que funcionés amb els nostres dispositius.

En aquesta funció tenim com entrades la data i la hora la qual obtenim d'un rellotge digital connectat via protocol I²C. Després de realitzar una sèrie de càlculs agafant valors de la taula de dades que està inclosa en el programa de control ens retorna els valors del azimuth i de l'altura en el moment en que s'han realitzat.

DIAGRAMA DE FLUX DE LA FUNCIO POSICIÓ SOLAR

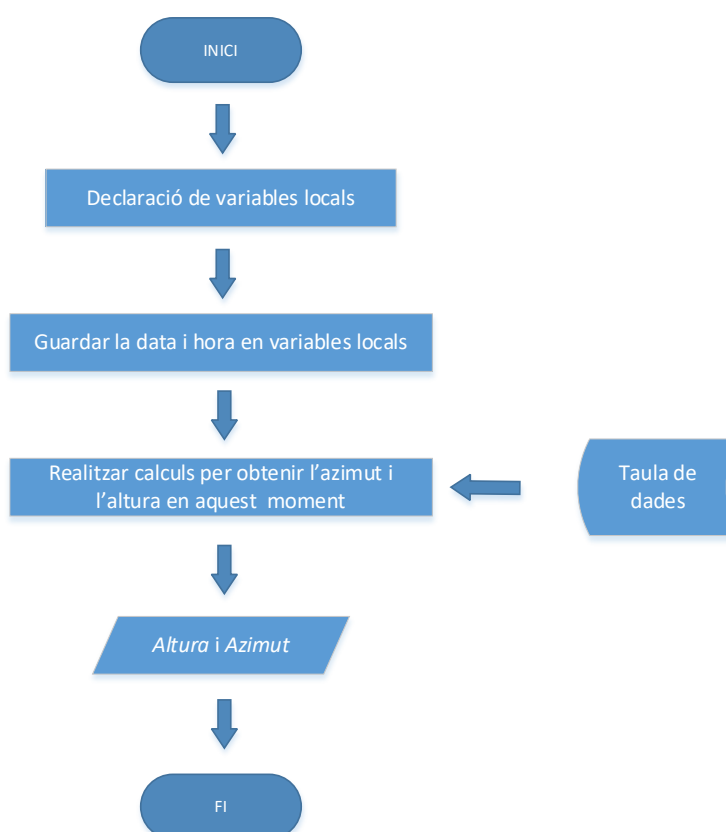


Figura 3-5 Diagrama de flux de la posició solar..

En aquesta part del projecte i degut a que les plaques solars no generen llum de nit, necessitem un rellotge digital amb pila que ens conservi la data i la hora. Per aquest motiu també s'ha realitzat una recerca dels components que ens podrien servir:

RELOTGE DIGITAL DS 3231



Figura 3-6 Fotografia del DS 3231.

Avantatges:

- Té un cost molt baix.
- Els pins venen soldats directament, de forma que sol cal connectar-lo.
- Té un tamany força reduït.

- És molt senzill de fer anar degut a que disposa de moltes llibreries i programes d'exemple.

Inconvenients:

- Cap.

Preu: El cost és de 2,00€ (sense IVA ni ports).

RELOTGE DIGITAL DS 1307



Figura 3-7 Fotografia del **DS 1307**.

Avantatges:

- Té una mida reduïda.

Inconvenients:

- No és tan precís com el DS3231.
- Munta una pila de menys capacitat

Preu: El cost és de 2,00€ (sense IVA ni ports).

ELECCIÓ DEL RELLOTGE:

Descartes:

Es descarta directament:

- **El DS 1307:** ja que és igual que el DS 3231 però amb menys precisió.

Elecció:

- **El DS 3231:** aquest servirà de rellotge digital. Si hi hagués algun tall de llum aquest en conservarà la hora i data.

3.3. POSICIÓ DEL SEGUIDOR

Per saber en quina posició es troba el seguidor en cada moment ens cal implementar una funció que obtingui els valors de l'angle i orientació dels sensors, que estan connectats al microcontrolador i ubicats al seguidor. En el cas de l'orientació es realitza una correcció i finalment ens retorna la inclinació i l'orientació actual del seguidor.

L'angle error es una variable que s'ha de calcular manualment i s'utilitzarà per poder corregir els graus que ens dona el sensor que fa de brúixola quan està encarat al nord, on teòricament hauria de ser 0, en el nostre cas ens dona 82º, però varia en cada magnetòmetre

DIAGRAMA DE FLUX DE LA FUNCIÓ POSICIÓ DEL SEGUIDOR

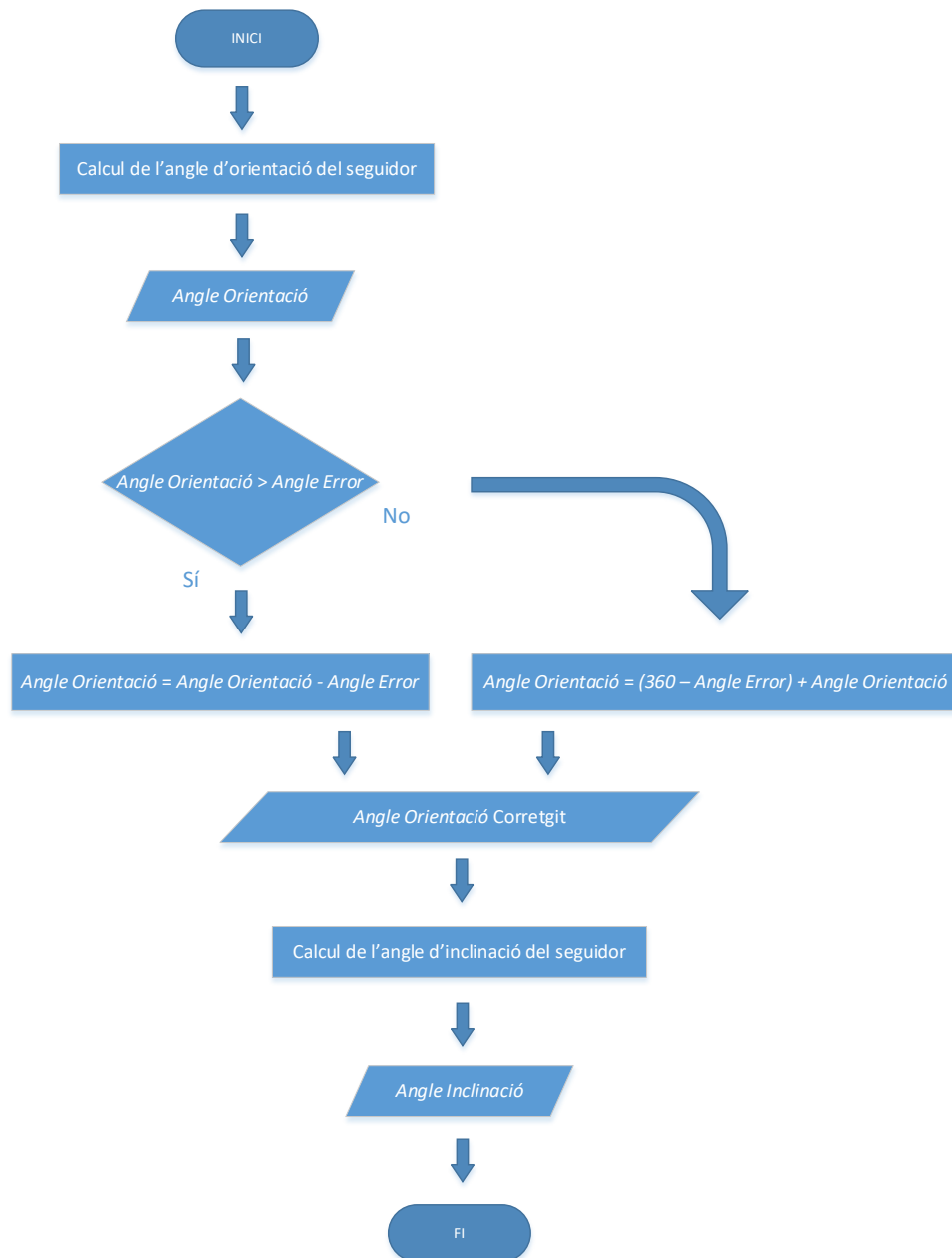


Figura 3-8 Diagrama de flux de la funció de la posició del seguidor.

Per fer poder determinar la posició del seguidor en primer lloc es va estudiar fer-ho a través de potenciòmetres, com es fa al treball citat a l'apartat 1.1, però degut a que els seguidors solars ja estan construïts i que no es va pensar en aquest requisit en el moment de fabrica'ls, s'ha decidit que per fer funcionar aquesta funció l'ideal seria fer servir una Unitat de Mesura Inercial (IMU). Es van realitzar proves amb una IMU a la part superior del seguidor, que no van ser satisfactòries degut a que els magnetòmetres no acostumen a treballar bé inclinats i la brúixola acumulava molt error en cada moviment. Així doncs, no en tindrem prou amb utilitzar una sola IMU, per tant, em de seleccionar

dos sensors de posició. Un dels sensors ha de tenir inclinòmetre per determinar la inclinació, i l'altre un magnetòmetre per realitzar les funcions de brúixola. També s'ha fet una selecció i triatge:

IMU ADAFRUIT BNO055

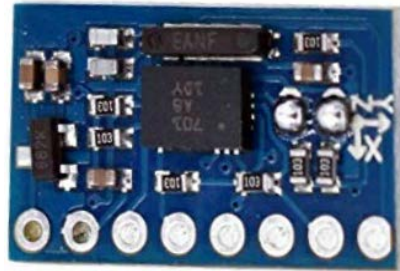


Figura 3–9 Fotografia del **BNO055**.

Avantatges:

- Té una gran precisió.
- Treballa amb 9 eixos.
- Té brúixola/magnetòmetre.

Inconvenients:

- Té un preu molt elevat.

Preu: El cost és de 40,00€ (sense IVA ni ports).

IMU GY-521



Figura 3–10 Fotografia del **GY-521**.

Avantatges:

- Té un cost molt baix.
- És molt intuïtiu i senzill a l'hora de programar.

Inconvenients:

- Només treballa amb 3 eixos.
- No té brúixola/magnetòmetre.

Preu: El cost és de 2,00€ (sense IVA ni ports).

IMU MPU 9265

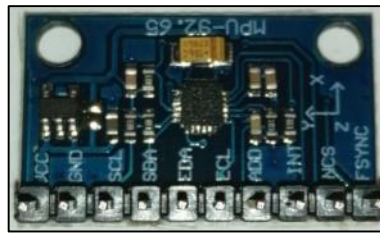


Figura 3–11 Fotografia del MPU 9265.

Avantatges:

- Té 9 eixos.
- Té brúixola/magnetòmetre.

Inconvenients:

- És completament impossible trobar el Nord amb aquest sistema.

Preu: El cost és de 5,00€ (sense IVA ni ports).

MAGNETÓMETRE GY 273



Figura 3–12 Fotografia del GY 273.

Avantatges:

- Té una mida molt petita.

Inconvenients:

- Requereix de calibratge cada vegada que s'inicia.

Preu: El cost és de 6,00€ (sense IVA ni ports).

MAGNETÓMETRE GY 271

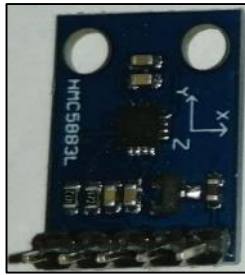


Figura 3–13 Fotografia del **GY 271**.

Avantatges:

- Té una mida molt petita.

Inconvenients:

- Requereix de calibratge cada vegada que s'inicia.

Preu: El cost és de 9,00€ (sense IVA ni ports).

IMU 9 EIXOS L3GD20303D LSM303D



Figura 3–14 Fotografia del **L3GD20303D LSM303D**.

Avantatges:

- No requereix de calibratge cada vegada que s'inicia.
- És bastant precís.
- Té brúixola/magnetòmetre.

Inconvenients:

- Hi ha un petit rang de graus en que la brúixola/magnetòmetre no treballa correctament.

Preu: El cost és de 7,00€ (sense IVA ni ports).

IMU BMX 055

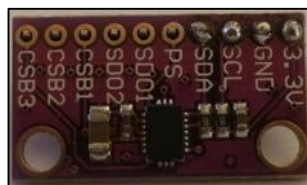


Figura 3–15 Fotografia del **BMX 055**.

Avantatges:

- Cost molt baix.

Inconvenients:

- El procés de fabricació no té prou qualitat.

Preu: El cost és de 2,00€ (sense IVA ni ports).

ELECCIÓ DEL SENSOR

Descartes:

Es descarta directament:

- **EI ADAFRUIT BNO055:** degut al seu cost tant elevat respecte als competidors directes.
- El magnetòmetre **GY 273** i **GY 271** perquè necessiten calibratge cada vegada que es connecta a la xarxa, fet que provoca que sigui molt difícil treballar amb ell.
- **EI BMX 055:** ja que de dues unitats comprades, en el moment de testar-les no hi ha hagut resultat, no ha funcionat cap de les dues.
- **EI MPU 9250:** ja que utilitza la mateixa direcció I²C que el sensor DS3231.

Elecció:

Per tant, queda com a elecció el la IMU GY-521, IMU 9 eixos L3GD20303D LSM303D.

- **La GY-521:** aquest servirà per donar la inclinació del seguidor.
- **La 9 eixos L3GD20303D LSM303D:** aquesta servirà de magnetòmetre.

3.4. CONTROL DE LA PLACA SOLAR

3.4.1. Control automàtic

La funció de control automàtic és la més complexa del programa, necessita nodrir-se de totes les variables i entrades del microcontrolador que s'han calculat amb anterioritat i acaba activant unes sortides que fan moure el seguidor fins que s'orienti al sol o bé plegar el seguidor en cas que sigui necessari. La placa es plega en casos d'emergències com alarma de robatori o vent, o be quan el sensor LDR de la caseta detecta que hi ha poca llum i ordena a totes les plaques que es pleguin.

En primer lloc, la funció llegeix un pin d'entrada i determina si la placa s'ha de plegar o no. En cas negatiu la placa inicia una sèrie d'operacions lògiques comparatives amb les quals va corregint l'orientació de la placa fins que queda orientada.

Aquesta funció compta amb un temporitzador que fa que en cas que la placa no hagi aconseguit orientar-se amb tres minuts (temps més desfavorable possible) s'aturin els motors i quedin aturats.

DIAGRAMA DE FLUX DE LA FUNCIO ORIENTACIÓ AUTOMÀTICA

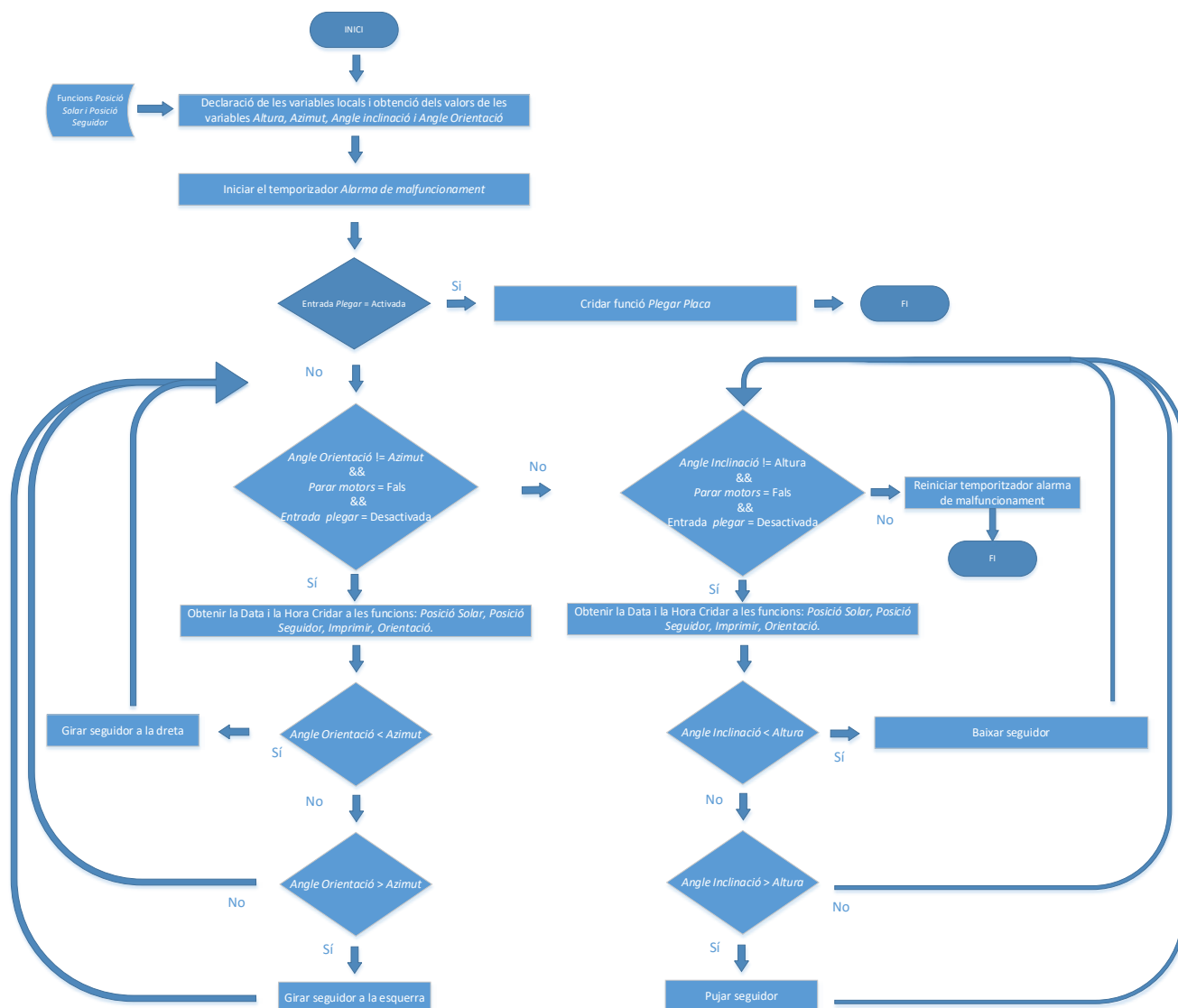


Figura 3–16 Diagrama de flux de la orientació automàtica.

3.4.2. Control remot

La funció de control remot permet donar una sèrie d'ordres al microcontrolador via Bluetooth, Aquestes ordres son girar a la dreta i a l'esquerra, pujar i baixar el seguidor, aturar els motors, reiniciar el temporitzador d'emergència, iniciar la funció d'orientació automàtica, plegar el seguidor i mostrar la informació del sensor.

El funcionament de la funció es el següent, la funció està esperant caràcters via terminal Bluetooth, cada caràcter executarà una ordre diferent. Un cop acabades les ordres la placa quedarà en espera fins que es toqui el botó desconnecta. La placa tampoc es quedarà en espera en cas de tocar el boto Auto.

Per fer més intuïtiu el procés d'enviament de caràcters s'ha utilitzat una aplicació anomenada BlueTooth Serial Controller (12) gratuïta i disponible per Android tot i que hi ha alternatives per IOS. Aquesta aplicació, un cop configurada amb el fitxer de

configuració que s'adjunta al treball, permet prémer botons de manera que directament s'envia el caràcter desitjat, fent molt més ràpid i senzill el procés de controlar remotament la placa.

El funcionament es senzill, en primer lloc hem de donar-li al boto CONNECT, ubicat a la part superior del dispositiu (Figura 3–17).

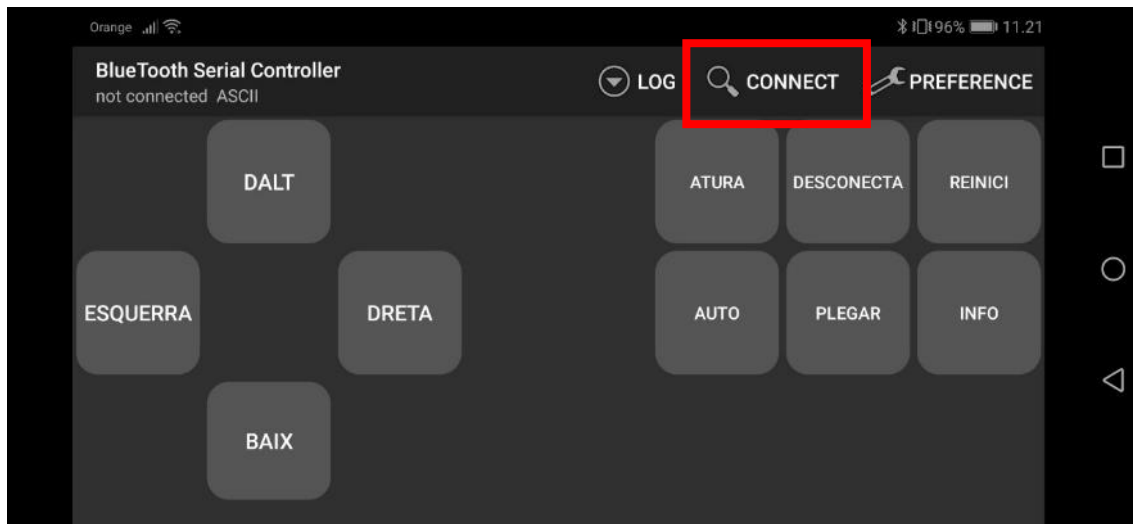


Figura 3–17 Captura de pantalla dels botons del Bluetooth Serial Controller.

Acte seguit s'ha de seleccionar el dispositiu Bluetooth desitjat (Figura 3–18):

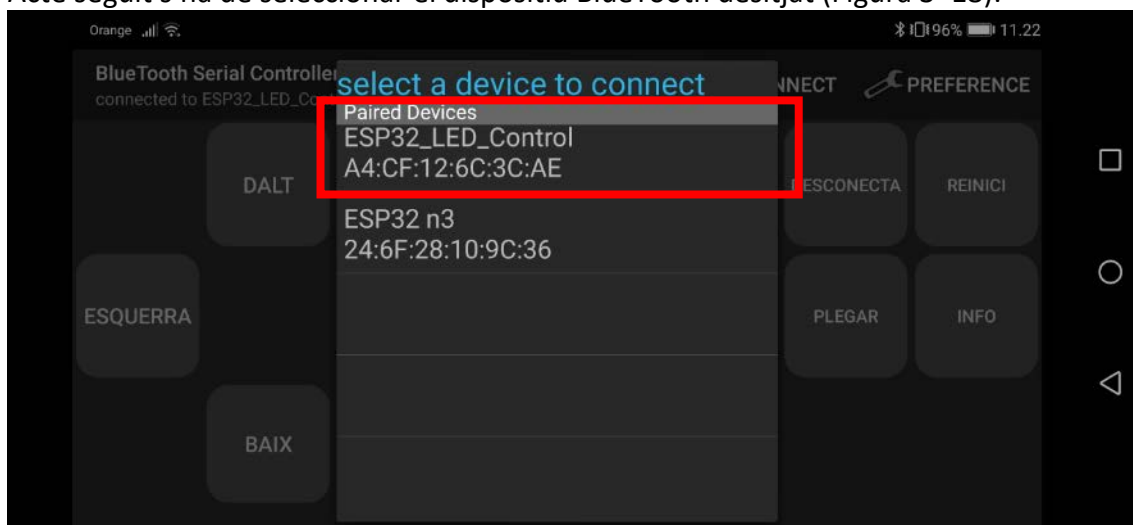


Figura 3–18 Captura de pantalla de l'elecció del dispositiu del Bluetooth Serial Controller.

Un cop realitzat el procés de connexió ja podem començar a operar amb la placa. Cal mencionar que les ordres de moviment seguiran executant-se fins que n'arribi una de nova, per tant si es clica el boto de Dreta, el seguidor girarà a la dreta fins que es cliqui el botó de Atura, el de Esquerra, el de Pujar o el de Baixar (Figura 3–19).

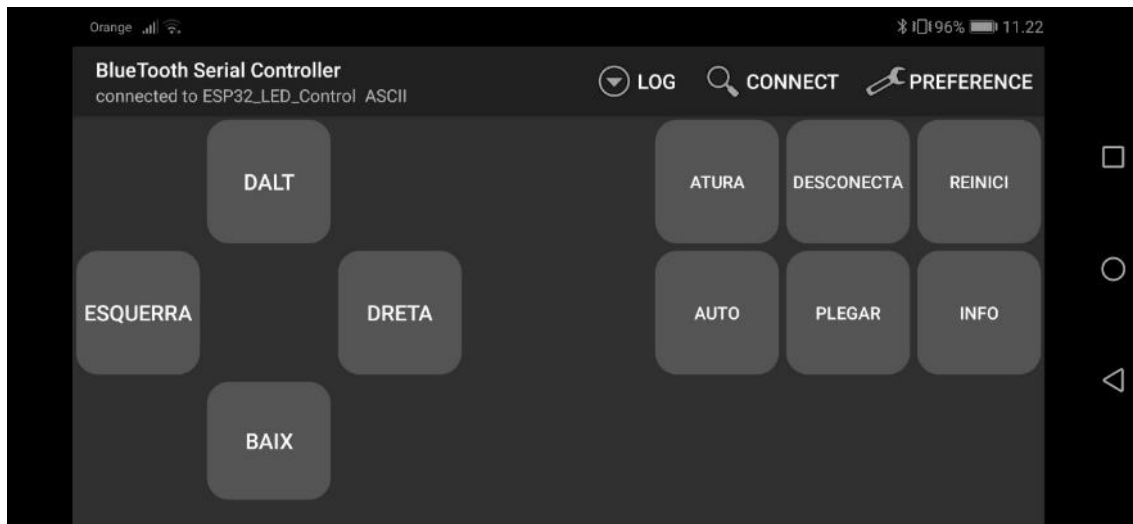


Figura 3–19 Captura de pantalla de les operacions del BlueTooth Serial Controller.

Un cop realitzats els moviments desitjats recordar de prémer el botó de DESCONECTA, per que la placa no quedi en espera indefinidament.

DIAGRAMA DE FLUX DE LA FUNCÍÓ DE CONTROL REMOT

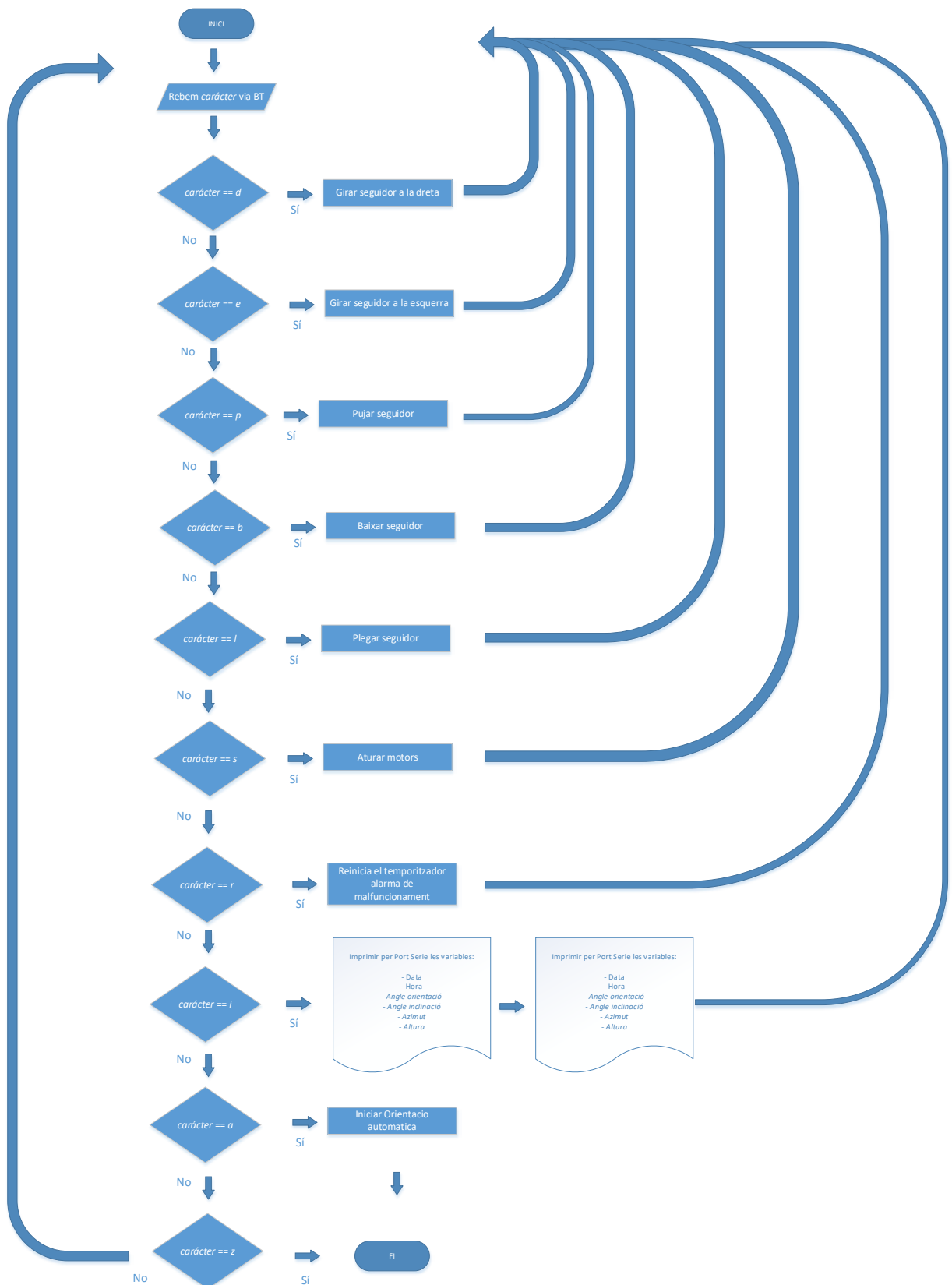


Figura 3–20 Diagrama de flux de la funció de control..

3.5. DESMUNTATGE INSTAL·LACIÓ ANTERIOR

Per aprofitar el màxim de la instal·lació anterior (Figura 3–21), no es substitueix el variador de freqüència, la bomba ni les electrovàlvules. Però les seves connexions sí que variaran.

En primer lloc es començarà retirant la placa mare vella, aquesta té un conjunt de cables d'entrada que a partir d'ara ja no serviran per a res, l'únic cable que s'aprofitarà és el que ens ordena plegar la placa en cas que salti l'alarma de l'anemòmetre, l'alarma de robatori o que el del luxímetre detecti que hi ha poca llum.

Un cop localitzat aquest, que és de color verd, s'etiquetarà i es procedirà a retirar i encintar tota la resta.

Acte seguit s'agafaran els cables que van a les sortides i es troben a la part dreta de la placa, aquests governen els solenoides de les electrovàlvules i es classificaran degudament per saber quin activa cada solenoide. També es desconnectaran els cables que van a les entrades del variador de freqüència i es retirarà el sensor d'ombres piramidal ubicat al capdamunt del seguidor.

Un cop retirat tota la instal·lació vella (en el prototip no s'acaba de retirar degut a que no es coneix si més endavant algun element pot ser necessari) es podrà iniciar el muntatge.

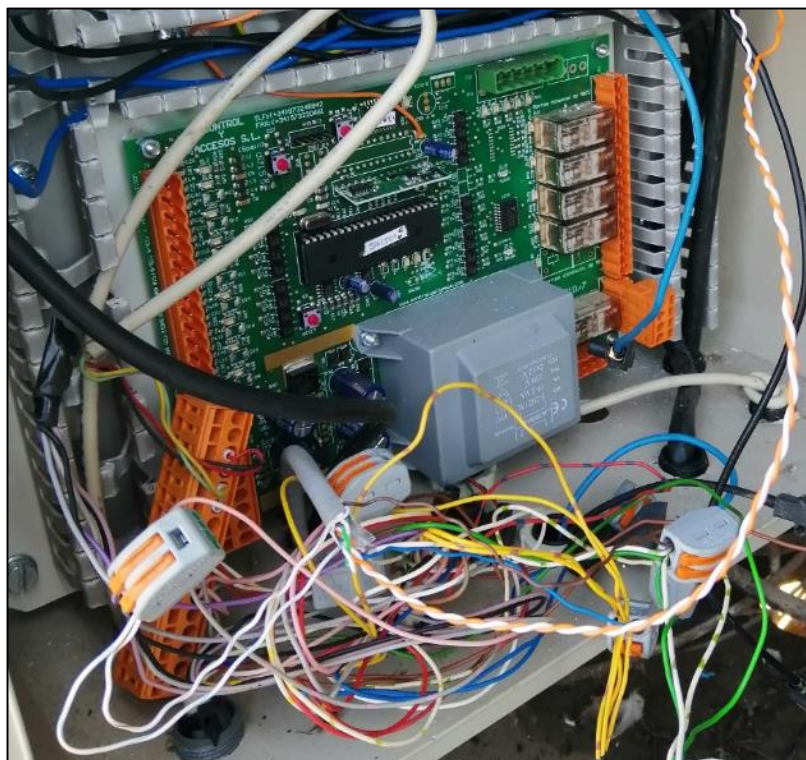


Figura 3–21 Fotografia de tot el muntatge.

3.6. MUNTATGE DE LA NOVA INSTAL·LACIÓ

La part del muntatge es dividirà en tres parts, en la primera el muntatge de la caixa, el qual es pot realitzar a casa o en un taller. La segona part consistirà en la connexió dels dispositius, i aquesta ja s'ha de realitzar al parc. A partir del segon apartat el seguidor ja gairebé funciona del tot, sols faltaria la tercera part per aconseguir que es plegui a la nit i en cas d'alarma.

3.6.1. Muntatge de la caixa i el microcontrolador

En primer lloc s'instal·la una caixa estanca (Figura 3–22) amb grau de protecció IP68 de 36x27x17cm en la qual s'han realitzat quatre forats (dos a la part frontal i dos a la part lateral) per l'entrada de cables. Dins d'aquesta caixa s'hi apegarà una protoboard amb el seu propi adhesiu. També si fixarà amb visos un carril DIN simètric de 35mm en el qual hi anirà un relé. A un extrem de la placa s'hi col·locarà l'ESP32 i en l'altre hi aniran ubicats els relés. A la part superior de la caixa s'hi instal·larà una regleta de 2 endolls de 16A d'intensitat màxima. En aquests endolls s'hi connectaran 2 transformadors de 230Vdc a 5Vcc que alimentaran l'ESP32 i la placa de relés mitjançant cables microUSB.



Figura 3–22 Fotografia del muntatge de la caixa i del microcontrolador..

3.6.2. Connexió dels dispositius a la Protoboard

Els dispositius seleccionats per realitzar aquest projecte utilitzen el protocol de connexió I²C i cada un té una adreça diferent i no poden ser iguals, per que entrarien en conflicte. Les adreces I²C dels nostres dispositius son:

Taula 3-1 Dispositius seleccionats per realitzar el projecte.

DISPOSITIU	ADREÇA 1	ADREÇA 2	ADREÇA 3	ADREÇA ADO
Sensor GY-521	0x68	-	-	0x69
Relloige DS3231	0x57	0x68	-	-
Sensor 9 DOF	0x19	0x1E	0x6B	-

La forma de connectar dispositius I²C a un ESP32 es ben senzilla, tots els dispositius (incloent l'ESP32) disposen d'un pin anomenat SCL i un altre anomenat SDA, doncs bé tots els pins SDA van connectats junts i tots els pins SCL també.

S'utilitzaran les línies verticals de connexió de la protoboard, una de les quals servirà per connectar tots els SDA i l'altra per connectar tots els SCL, també hi hauran línies de 5V, 3.3V i GND per fer més senzilla la connexió dels dispositius.

Però tal i com es pot veure en la Taula 3-1, tenim una adreça que es repeteix, per que no entri en conflicte, es connectarà el pin AD0 del sensor GY-521 a Vcc, això farà que la adreça del sensor passi a ser la adreça AD0, i d'aquesta forma ja no hi haurà conflicte.

El sensor GY 521 anirà connectat a la protoboard via un cable UTP de 3 metres i s'ubicarà a sota una biga mòbil del seguidor de manera que quedi ben pla.



Figura 3-23 Fotografia del muntatge del sensor GY 521.

A les sortides dels relés 1,2,3 i 4 hi aniran les electrovàlvules avall, amunt, esquerra i dreta respectivament, a la pota central d'aquests relés anirà connectada a 230Vdc que vindran del variador de freqüència L510-201, tenint un filtre de senyal entremig que disminuirà la potencia reactiva generada per les bobines de les electrovàlvules (Figura 3-24).



Figura 3-24 Fotografia del filtre a l'entrada de les electrovàlvules.



Figura 3-25 Fotografia de les sortides del variador.

Per poder activar el variador s'ha buscat a les especificacions tècniques i s'ha trobat que apart de prement el botó RUN, es pot engegar posant 24Vcc a la entrada S1. Tanmateix el variador de freqüència té una sortida a 24Vcc, per aquest motiu el relé número 5 tindrà la pota central connectada a la sortida de 24Vcc del variador de freqüència L510-201 mitjançant un parell de fils d'un cable UTP (Figura 3-25) que unirà la caixa vella i la nova, un altre parell sortirà de la sortida activada del relé número 5 i anirà endollat a l'entrada S1 del variador, de forma que el microcontrolador serà capaç d'engegar el variador i per tant, la bomba. Les figures 3-25 i 3-26 mostren l'esquema de connexió dels diferents dispositius.

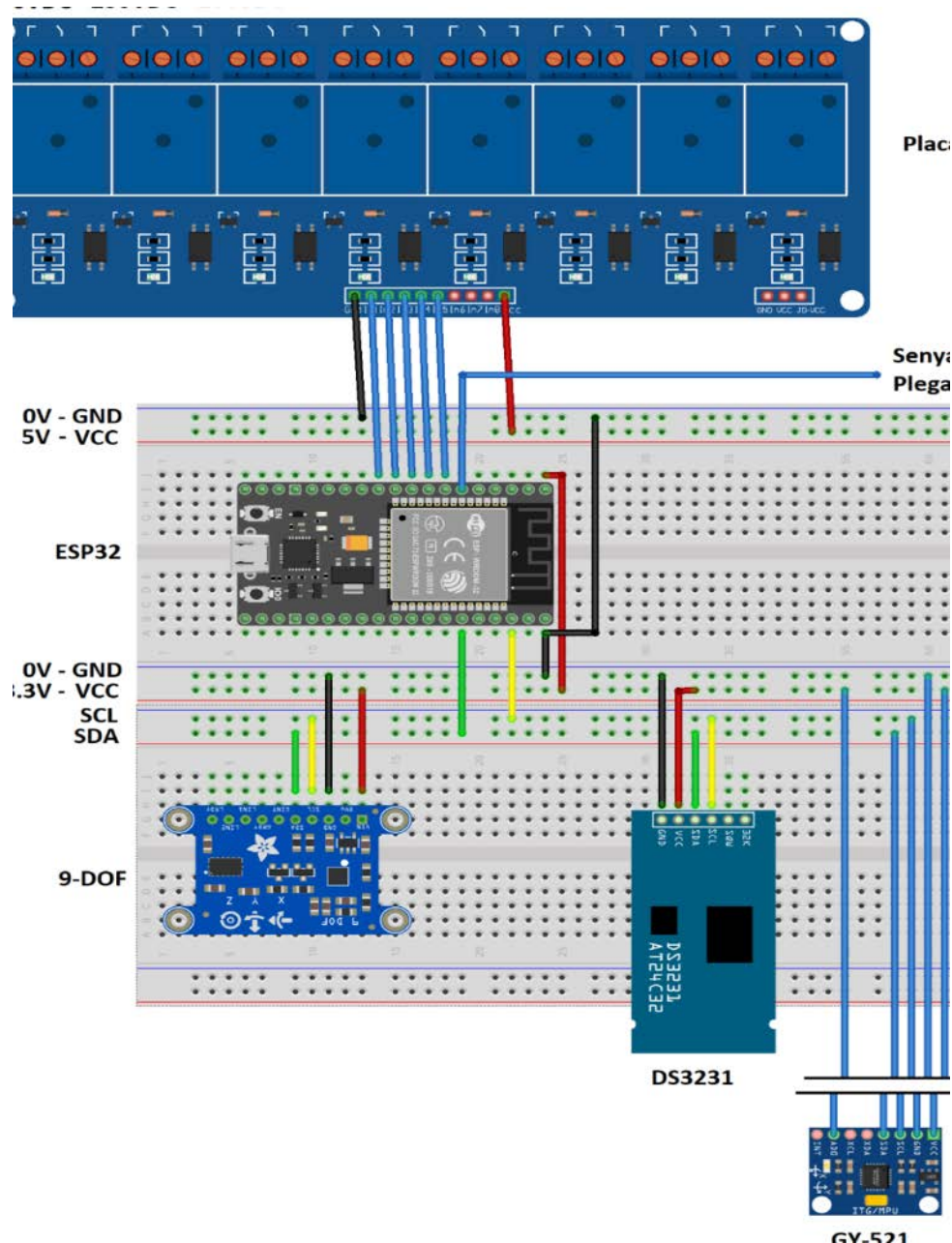


Figura 3-26 Esquema de la simulació dels components..

Esquema de connexions del sistema de control:

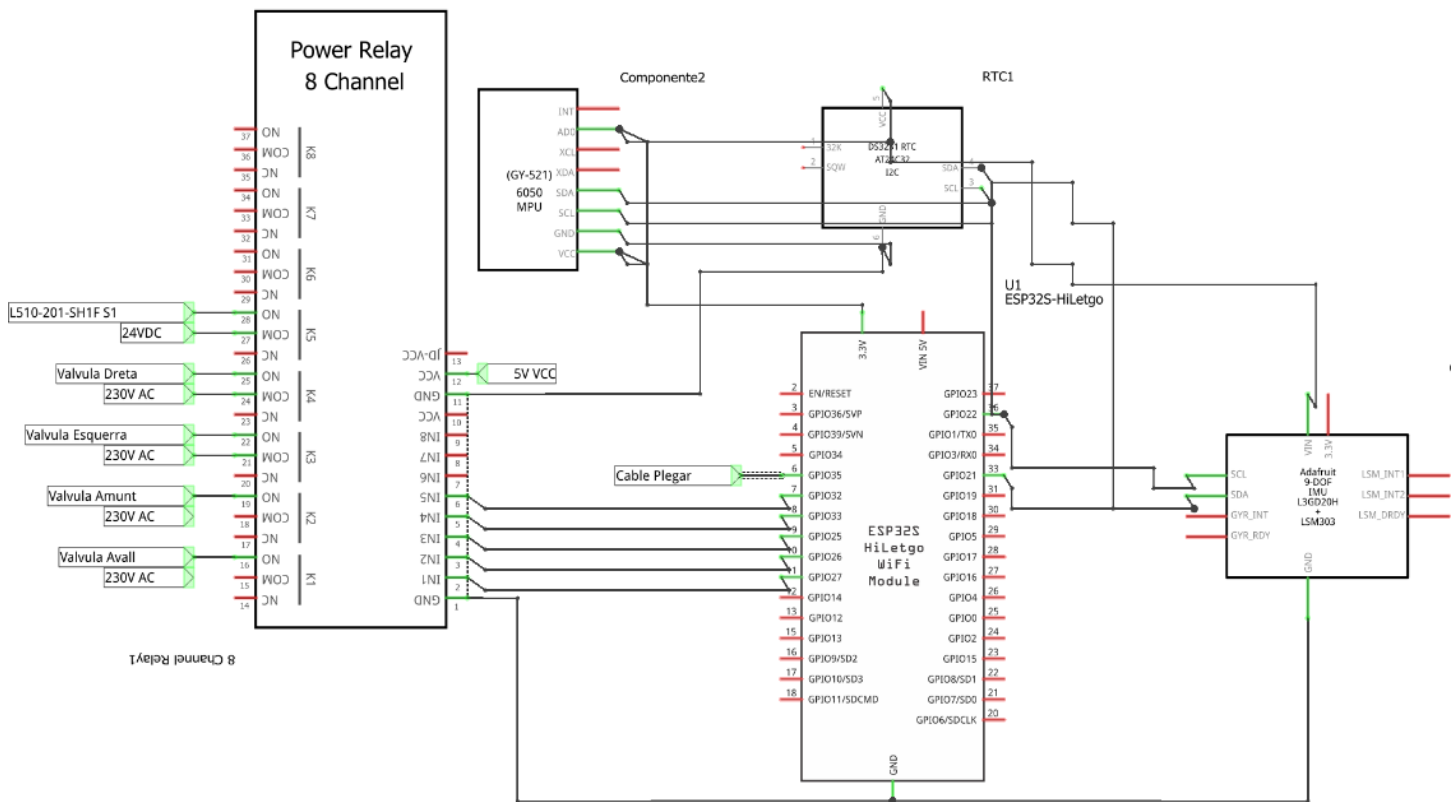


Figura 3-27 Esquema de les connexions del sistema de control.

3.6.3. Connexió del relé de senyal de plegat.

La senyal que fa plegar els seguidors i que s'ha mencionat anteriorment en l'apartat 3.4.1 és de 12Vcc i funciona amb lògica negativa, per tant el seguidor s'ha de plegar en quan arriben 0V.



Figura 3–28 Seguidor solar en posició de plegat.

L'ESP32 no suporta 12Vcc, per aquest motiu s'utilitzarà el relé mencionat en l'apartat 5.1, aquest servirà per passar de lògica negativa a positiva i de 12Vcc a 3.3Vcc

El funcionament es senzill, el cable verd que porta la senyal també mencionat en l'apartat 5.1 es connecta a l'actuador del relé. A la pota de connexió fixa s'hi connectarà el fil que va l'ESP35 (Pin 35), la pota del relé està desactivat es connecta a 3.3Vcc i a la pota d' activat es connecta a GND. D'aquesta manera quan la senyal del cable verd pari, el relé es desactivarà enviant 3.3Vcc al ESP32.

Esquema del relé de senyal de plegat:

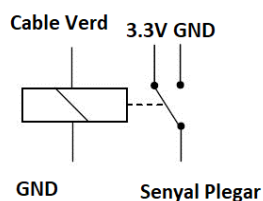


Figura 3–29 Esquema del relé de senyal de plegat.

La Figura 3–30 mostra una fotografia del muntatge final amb l'ordenador llegint el port sèrie.



Figura 3–30 Fotografia del muntatge final.

4. EXPERIMENTS I RESULTATS

S'ha realitzat un petit estudi en el qual es compara el rendiment del seguidor millorat (el seguidor número 60) amb el seu seguidor més pròxim (el número 61). Degut a que el funcionament complert del seguidor no s'ha pogut aconseguir fins a tenir ben pròxima la data d'entrega d'aquest projecte, només s'han pogut agafar els valors dels últims set dies d'agost, per tant els resultats d'aquest estudi no son molt representatius però serveixen per començar a tenir una miqueta d'idea.

Amb les eines que disposa la plana web del parc s'ha elaborat un gràfic i una sèrie de taules en les que compararem el rendiment de els seguidors durant set dies.

En color blau tenim el seguidor millorat i en vermell el seguidor de control. Veient el gràfic es pot observar que a primera hora del dia el seguidor millorat s'orienta millor, segurament degut a la presència de núvols. La resta del dia els rendiments són més o menys els mateixos, rendint en algun moment puntual més el seguidor sense millorar.

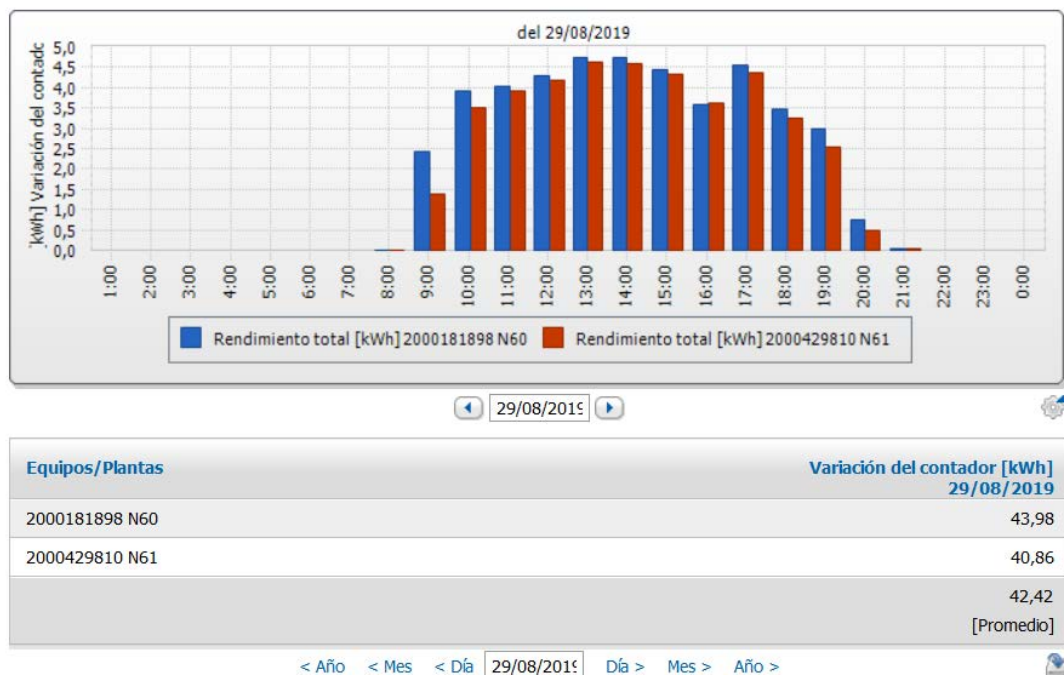


Figura 4–1 Estudi de l'experiment.

Tal com es pot observar a la taula obtinguda (Taula 4-1), la diferencia de rendiment entre el seguidor de control i el seguidor modificat es poca, guanyant uns dies el seguidor millorat i uns altres el seguidor de control, però per diferències mínimes sense arribar en cap cas al 10% .

Taula 4-1 Resum del seguidor i rendiment.

DATA	SEGUIDOR MILLORAT	SEGUIDOR DE CONTROL	DIFERÈNCIA EN %
25/08/2019	41,52	43,25	- 4,16%
26/08/2019	31,72	28,87	+ 9,87%
27/08/2019	25,77	26,97	- 4,44%
28/08/2019	45,27	47,53	- 4,75%
29/08/2019	43,98	40,86	+ 7,65%
30/08/2019	43,96	41,97	+ 4,74%
31/08/2019	42,38	41,29	+ 2,63%

Per veure més clarament les avantatges del nostre sistema d'orientació l'hem comparat amb un seguidor que el dia 27 d'agost es va desorientar el número 70, en vermell, en blau tornem a tenir el seguidor millorat el número 60. Es pot observar com el rendiment del seguidor millorat es superior durant gairebé tot el dia fins a les últimes hores on possiblement el seguidor es va orientar bé al obrir-se el cel.

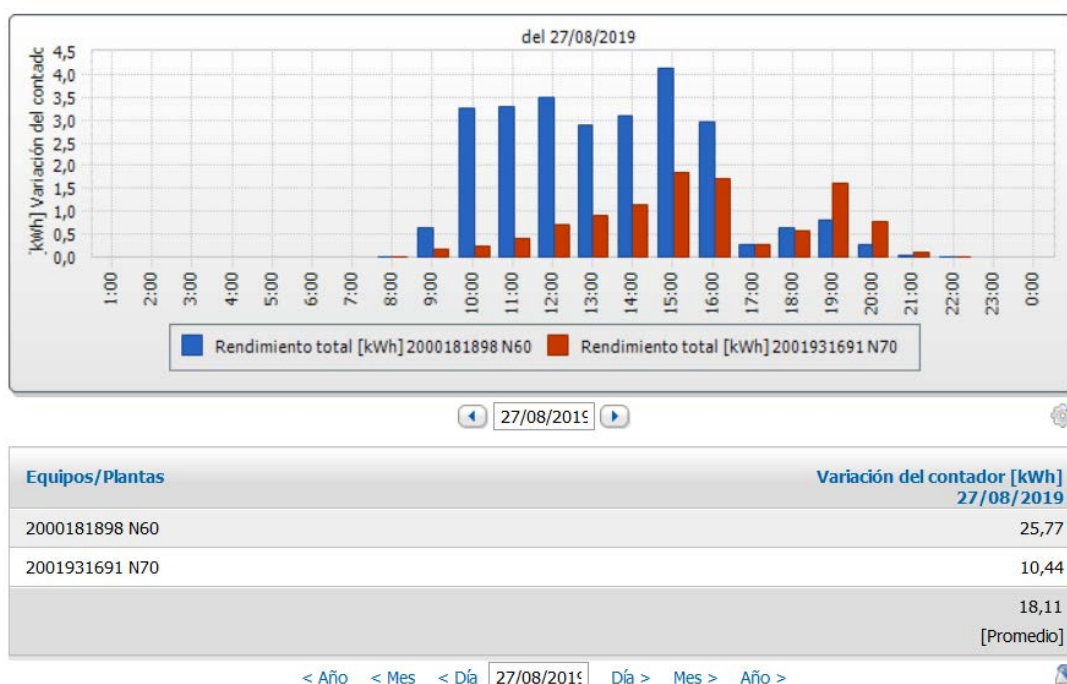


Figura 4-2 Estudi de l'experiment.

Vist les dades anteriors queda palès que el nostre seguidor es capaç d'orientar-se tant be com els seguidors existents quan funcionen correctament, i a la vegada treballar correctament quan els altres es desorienten degut a les inclemències meteorològiques.

5. PRESSUPOST

S'ha realitzat dos pressupostos, el primer pressupost és el pressupost pilot i el segon és el pressupost en sèrie, en cas de seguir endavant amb el projecte i aplicar-lo al conjunt de seguidors del parc solar.

5.1. PRESSUPOST PILOT

El pressupost pilot, és la suma de tots els materials i recursos humans utilitzats abans d'arribar a l'objectiu del projecte. En aquest pressupost s'ha sumat totes aquelles peces que no s'han utilitzat però que s'han provat i posteriorment s'han descartat.

Així també, s'ha sumat a l'última taula, tots aquells materials que no han estat englobats en cap fase però que són importants pel projecte.

S'ha calculat el cost total dels materials principals.

Taula 5-1 Cost dels materials principals.

MATERIAL	UNITATS	COST UNITARI	COST TOTAL
Rellotge Digital DS 3231	1	2,00 €	2,00 €
Rellotge Digital DS 1307	1	2,00 €	2,00 €
ADAFRUIT BNO055	1	40,00 €	40,00 €
IMU GY-521	2	2,00 €	4,00 €
IMU MPU 9250	1	5,00 €	5,00 €
Magnetómetre GY 273	1	6,00 €	6,00 €
Magnetómetre GY 271	1	9,00 €	9,00 €
IMU 9 eixos L3GD20303D LSM303D	2	7,00 €	14,00 €
IMU BMX 055	1	2,00 €	2,00 €
ARDUINO DUE	1	33,95 €	33,95 €
ESPRESSIF ESP32	3	5,91 €	17,73 €
RASPBERRY Pi3B+	1	35,00 €	35,00 €
Subtotal material			170,68 €

Seguidament també s'ha calculat el cost total de la dedicació d'hores al projecte.

Taula 5-2 Cost dels recursos humans.

HORES PERSONAL	UNITATS	COST UNITARI	COST TOTAL
Hores al despatx	400	9,40 €	3.760,00 €
Hores al parc	115	14,00 €	1.610,00 €
Subtotal Personal			5.370,00 €

Per últim, s'ha calculat el cost total dels diversos materials que no es troben en cap fase concreta del projecte.

Taula 5-3 Cost d'altres materials.

MATERIAL ALTRES	UNITATS	COST UNITARI	COST TOTAL
Cables DuPont	120	0,06 €	6,99 €
BreadBoard MB-102	1	9,99 €	9,99 €
Mòdul de 8 relés (3.3V AptoFun)	1	8,99 €	8,99 €
Caixa de doble aïllament	1	67,68 €	67,68 €
Relé potencia miniatura STD 12VCC	1	9,48 €	9,48 €
Base rail DIN S7-C CX	1	4,53 €	4,53 €
Caixa estanca	1	4,57 €	4,57 €
Base doble 16A-250V TT	1	7,28 €	7,28 €
Cable UTP 10 metres	1	7,00 €	7,00 €

Taula 5-4 Cost total.

TIPUS	COST TOTAL
Material	170,68 €
Hores personal	5.370,00 €
Material altres	129,53 €
TOTAL	5.670,21 €

5.2. PRESSUPOST EN SÈRIE

El pressupost en sèrie és el pressupost en cas de que el projecte tiri endavant i tots els costos inicials i durant el manteniment que es trobarien.

Taula 5-5 Cost materials principals

MATERIAL	UNITATS	COST UNITARI	COST TOTAL
Rellotge Digital DS 3231	1	2,00 €	2,00 €
IMU GY-521	2	2,00 €	4,00 €
IMU 9 eixos L3GD20303D LSM303D	2	7,00 €	14,00 €
ESPRESSIF ESP32	3	5,91 €	17,73 €
Subtotal material			37,73 €

Taula 5-6 Cost dels recursos humans.

HORES PERSONAL	UNITATS	COST UNITARI	COST TOTAL
Hores al muntatge parc	5	14,00 €	70,00 €
Subtotal Personal			70,00 €

Taula 5-7 Cost d'altres materials.

MATERIAL ALTRES	UNITATS	COST UNITARI	COST TOTAL
Mòdul de 8 relés (3.3V AptoFun)	1	8,99 €	8,99 €
Relé potencia miniatura STD 12VCC	1	9,48 €	9,48 €
Base rail DIN S7-C CX	1	4,53 €	4,53 €
Caixa estanca	1	4,57 €	4,57 €
Base doble 16A-250V TT	1	7,28 €	7,28 €
Cable UTP 10 metres	1	7,00 €	7,00 €
Placa impressa PCB	1	10,00 €	10,00 €
Transformador corrent USB	2	0,61 €	1,22 €
Cable USB	2	0,90 €	1,80 €
Subtotal material altres			54,87 €

El cost total del pressupost en sèrie seria al voltant dels 200€.

Taula 5-8 Cost total.

TIPUS	COST TOTAL
Material	37,73 €
Hores personal	70,00 €
Material altres	54,87 €
SUBTOTAL	162,6€
Benefici Industrial (6%)	9,756€
Despeses Generals (13%)	21,138€
TOTAL	193,494€

6. CONCLUSIONS

Després de la realització d'aquest treball s'ha pogut arribar a diverses conclusions en vers l'assoliment dels objectius.

- S'ha estudiat que és viable la substitució i per tant millora dels equips que fan possible l'orientació del parc solar Agrosolar-Linyola S.L.
- Els dispositius comprats i teòricament d'ús domèstic responen i resisteixen les inclemències del temps, al estar ben aïllats dins de caixes estanques.
- També es nota una millora en el rendiment del seguidor, tot i que teòricament el mètode inicial amb detecció d'ombres hauria de ser més eficient, al no funcionar degudament es veu superat en rendiment per el sistema horari.
- A nivell de costos s'ha aconseguit un preu de materials i costos de muntatge molt reduïts de forma que es fa viable la implementació a gran escala, es a dir als altres 71 seguidors.
- S'han pogut assolir els objectius inicials del projecte.
- En cas de que en els pròxims mesos sorgís algun problema s'ha aconseguit que tots els canvis realitzats en la millora siguin reversibles.
- El funcionament del càlcul d'on està la posició solar funciona perfectament i no té pràcticament error (com a màxim mig grau)
- El funcionament de el magnetòmetre i la IMU per ubicar la posició actual de la placa es correcte, però es podria millorar, fet que tractarem al següent apartat.
- El microcontrolador escollit ha complert molt satisfactòriament amb tots els requisits.
- El mode de control Remot ha resultat ser molt més pràctic que el seu antecessor degut a les funcions disponibles: PLEGAR, INFO i REINICI, que fan més fàcil la feina dels treballadors.
- S'ha de deixar passar un temps, per veure com responen els equips a la llarga a les inclemències del clima abans de començar la implantació a gran escala.

7. FUTURES MILLORES I AMPLIACIONS

Un dels problemes més recurrents que hem tingut en aquest projecte ha sigut el magnetòmetre amb el que es realitzen les funcions de brúixola, funciona però hi ha un petit marge de graus en que té error. En cas de seguir endavant amb el projecte, i tenint el suport econòmic dels inversors s'estudiaria canviar el magnetòmetre per un amb especificacions superiors.

En cas de seguir endavant amb el projecte, i aprofitant que els ESP32 disposen de WI-FI s'instal·laria un router amb connexió a internet i diversos repetidors de manera que tots els ESP32 despenguessin de connexió a la xarxa.

A la caseta de control s'instal·laria una Raspberry PI i mitjançant el protocol d'intercanvi de dades entre dispositius Mosquitto (MQTT), els seguidors podrien reportar errors, ja siguin en el sistema hidràulic, substitució de piles, o en cas de no enviar dades, alertar de algun microcontrolador cremat o falta d'alimentació.

A la Raspberry Pi se li habilitaria un servidor web al qual poguéssim accedir des de casa i visualitzar l'estat i la orientació de tots els seguidors.

Finalment també a la Raspberry s'instal·laria un bot de Telegram el qual enviaria alertes de mal funcionament a algun mòbil determinat.

8. BIBLIOGRAFIA

1. **RSE.** *Remica Servicios Energéticos.* [Online] 2019. <https://remicaserviciosenergeticos.es>.
2. **FE.** *Factor Energía.* [Online] 2019. <https://www.factorenergia.com>.
3. **CE, European Comission.** Eurostat Statistics Explained. [Online] 2019. <http://ec.europa.eu>.
4. **REE.** Red Eléctrica Española. [Online] 2019. <http://www.ree.es>.
5. **IDAE.** Instituto de Diversificación y Ahorro de la Energía. [Online] 2019. <https://www.idae.es>.
6. **ICE.** Institut Català de l'Energia. [Online] 2019. <http://icaen.gencat.cat>.
7. **FMR.** Fundació Món Rural. [Online] 2019. <http://www.fmr.cat/>.
8. **AUI.** Al Akhawayn University. *Concentrated Photovoltaic Plant Implementation At Aui.* [Online] 2019. <http://www.aui.ma>.
9. **CM.** *Cerebral Meltdown.* [Online] 2019. <https://www.cerebralmeltdown.com>.
10. **RG.** ResearchGate. *Solar Tracking Techniques and Implementation in Photovoltaic Power Plants: a Review.* [Online] 2019. <https://www.researchgate.net>.
11. **AutoconsumoSI.** [Online] 2019. <https://www.autoconsumosi.com>.
12. **BSC. Bluetooth Serial Controller.** *Google Play.* [Online] 2019. <https://play.google.com>.
13. **SFE. Sun Fields Europe.** [Online] 2019. <http://www.sfe-solar.com>.
14. **ENDESA.** *Endesa Educa.* [Online] 2019. <http://www.endesaeduca.com>.

9. ANNEXOS

9.1. PROGRAMA DE CONTROL

```
// Programa principal per la orientació d'un seguidor solar.
//Jordi Pedrós i Caba

#include <Wire.h>
#include <Adafruit_Sensor.h>
#include <Adafruit_LSM303_U.h>
#include <Adafruit_L3GD20_U.h>
#include <Adafruit_9DOF.h>
#include <math.h>
#include "BluetoothSerial.h"
#include "RTCLib.h"
#include <timer.h>

BluetoothSerial SerialBT; //Engegarem el port serie Bluetooth

RTC_DS3231 rtc; // Declarem el tipus de rellotge que tenim

//Posem aquí les coordenades del parc solar i la zona horaria en la
que ens trobem (en cas d'horari d'estiu zona horaria + 1):
float latitude = 41.718649;
float longitude = 0.906323;
float timezone = 2;
float seaLevelPressure = SENSORS_PRESSURE_SEALEVELHPA;

//0 = Referencia azimuth al Sud. 180 = Referencia azimuth al Nord:
float northOrSouth = 180;

//Variables per al calcul de la posició del sol:
float pi = 3.14159265;
float altitude;
float azimuth;
float delta;
float h;

//Variables inclinació de la placa i sensor GY-521:
float angleplaca;
// Sensor GY-521:
const int MPU_addr=0x69;
int16_t AcX,AcY,AcZ,Tmp,GyX,GyY,GyZ;
int minVal=265;
int maxVal=402;
double x;
double y;
double z;
double yvella;

// Sensor 9DOF:
Adafruit_9DOF dof = Adafruit_9DOF();
Adafruit_LSM303_Accel_Unified accel =
Adafruit_LSM303_Accel_Unified(30301);
```

```

Adafruit_LSM303_Mag_Unified mag =
Adafruit_LSM303_Mag_Unified(30302);

// Declaració dels temporitzadors:

// Declaració dels Pins del Relé

int moviment = 5;
int bomba = 33;
int valdreta = 25;
int valesquerra =26;
int valamunt=14;
int valavall= 27;

// Declaració de les entrades i les seves variables

int pinplegar= 35;
int plegar = LOW;

// Declaració de les variables de hora i data
int dia3;
int mes3;
int hora3;
int minut3;
int any3;

// Declaració d'altres variables
boolean alarmatemp= false;
boolean controlremot= false;
int incoming= 0;

auto timer = timer_create_default(); // Creem un temporitzador

void setup()
{
//declaració dels pins com entrades

pinMode(pinplegar, INPUT);
//declaració dels pins com sortides
pinMode(moviment, OUTPUT);
pinMode(bomba, OUTPUT);
pinMode(valdreta, OUTPUT);
pinMode(valesquerra, OUTPUT);
pinMode(valamunt, OUTPUT);
pinMode(valavall, OUTPUT);
//Degut a que els relés treballen amb logica positiva els posem en
estat alt ja en arrancar.
digitalWrite(bomba,HIGH);
digitalWrite(valdreta,HIGH);
digitalWrite(valesquerra,HIGH);
digitalWrite(valamunt,HIGH);
digitalWrite(valavall,HIGH);

Serial.begin(115200); //obrim el port serie
SerialBT.begin("Placa Solar"); //Nom del dispositiu Bluetooth

```

```

Wire.begin();
initSensors();// Inici del sensor Gy-521
// Inici del sensor Gy-521
    Wire.beginTransmission(MPU_addr);
    Wire.write(0x6B);
    Wire.write(0);
    Wire.endTransmission(true);
latitude = latitude * pi/180; // Passar a radians
// En cas de perdita de corrent torna a posar la data i l'hora.
    if (rtc.lostPower()) {
        rtc.adjust(DateTime(F(__DATE__), F(__TIME__)));
    }
    timer.every(600000, temporitzador1); // Declarar el temporitzador
que orienta la placa
    timer.every(100, bluetoothtemp); // Declarar el temporitzador fa
funcionar el bluetooth
}

void loop()
{
    timer.tick(); // Actualitza el temporitzador.
}

```

9.2. FUNCIO CONTROL REMOT

```

//funció de control remot via Bluetooth
void remot(){
    if (SerialBT.available()) //Check if we receive anything from
Bluetooth
    {
        incoming = SerialBT.read(); //Read what we receive
        Serial.print("Received:"); Serial.println(incoming);

        if (incoming == 100)
        {
            girardreta();
            controlremot=true;
            alarmatemp==false;
            Serial.println("Control remot girant dreta!");
        }

        if (incoming == 101)
        {
            giraresquerra();
            controlremot=true;
            alarmatemp==false;
            Serial.println("Control remot girant esquerra!");
        }
    }
}

```

```

if (incoming == 112)
{
    pujarseguidor();
    controlremot=true;
    alarmatemp==false;
    Serial.println("Control remot pujant el seguidor!");
}

if (incoming == 98)
{
    baixarseguidor();
    controlremot=true;
    alarmatemp==false;
    Serial.println("Control remot baixant el seguidor!");
}

if (incoming == 108 )
{
    funcioplegar();
    controlremot=true;
    alarmatemp==false;
    Serial.println("Control remot plegant el seguidor!");
}

if (incoming == 115)
{
    pararmotors();
    controlremot=true;
    alarmatemp==false;
    Serial.println("Motors aturats!");
}

if (incoming == 114)
{
    pararmotors();
    controlremot=false;
    alarmatemp= false;
    Serial.println("Reinici dels sistemes d'orientació!");
}

if (incoming == 122)
{
    pararmotors();
    controlremot=false;
    Serial.println("Fi del control remot!!");
}

if (incoming == 97)
{
    DateTime now = rtc.now();
    solpos(now);
    seguipos();
    prints();
    orientacio();
    controlremot=false;
    Serial.println("INICI de Orientació automatica!");
}

```

```

    }
    if (incoming == 105)
    {
        DateTime now = rtc.now();
        solpos(now);
        seguipos();
        prints();
        Serial.println("Enviant informació BT!");
    }
}
}

```

9.3. FUNCIO POSICIO SOLAR

```

//Funció que calcula el Zenith i l'Azimuth
void solpos( DateTime date){
// Declaració de les variables de data i hora
    float month2;
    float day;
    float hour2;
    float minute2;
    float year2;

    //Calcular data i hora
    month2 = date.month();
    day = date.day();
    hour2 = date.hour();
    minute2 =date.minute();
    year2 =date.year();

    // Guardem la data i la hora en unes variables globals per poder
    accedir a elles fora de la funció
    dia3=day;
    mes3=month2;
    hora3=hour2;
    minut3=minute2;
    any3=year2;

    //Algorisme que calcula la posició del sol mitjançant els valors de la
    Taula solar
    float n = daynum(month2) + day;//NUMBER OF DAYS SINCE THE START OF
    THE YEAR.
    delta = .409279 * sin(2 * pi * ((284 + n)/365.25));//SUN'S
    DECLINATION.
    day = dayToArrayNum(day);//TAKES THE CURRENT DAY OF THE MONTH AND
    CHANGES IT TO A LOOK UP VALUE ON THE HOUR ANGLE TABLE.
    h = (FindH(day,month2)) + longitude + (timezone * -1 * 15);//FINDS
    THE NOON HOUR ANGLE ON THE TABLE AND MODIFIES IT FOR THE USER'S OWN
    LOCATION AND TIME ZONE.
    h = (((hour2 + minute2/60) - 12) * 15) + h)*pi/180;//FURTHER
    MODIFIES THE NOON HOUR ANGLE OF THE CURRENT DAY AND TURNS IT INTO THE
    HOUR ANGLE FOR THE CURRENT HOUR AND MINUTE.
    altitude = (asin(sin(latitude) * sin(delta) + cos(latitude) *
    cos(delta) * cos(h)))*180/pi;//FINDS THE SUN'S ALTITUDE.

```

```

    azimuth = ((atan2((sin(h)),((cos(h) * sin(latitude)) - tan(delta) *
cos(latitude)))) + (northOrSouth*pi/180)) *180/pi;//FINDS THE SUN'S
AZIMUTH.

}

```

9.4. FUNCIONS POSICIÓ DEL SEGUIDOR

```

void initSensors() //Funció que comprova l'estat i arranca el sensor
9-DOF
{
    if(!accel.begin())
    {
        Serial.println(F("L3GD20303D no detectat."));
        while(1);
    }
    if(!mag.begin())
    {
        Serial.println("LSM303 detectat.");
        while(1);
    }
}

void seguipos() { //Funció que calcula la posició de la placa

    // Inici del sensor 9-DOF
    sensors_event_t accel_event;
    sensors_event_t mag_event;
    sensors_vec_t    orientation;

    // Calcul de l'angle on esta orientada la placa desde el Nord.
    mag.getEvent(&mag_event);
    if (dof.magGetOrientation(SENSOR_AXIS_Z, &mag_event, &orientation))
    {
        //Aquí ajustem els graus per calibrar el sensor manualment
        angleplaca=orientation.heading;

        if (angleplaca>=82)
        {
            angleplaca=angleplaca-82;
        }

        else

```

```

    {
        angleplaca=(360-82)+angleplaca;
    }

    // Calcul de l'angle d'inclinació de la placa.
    Wire.beginTransaction(MPU_addr);
    Wire.write(0x3B);
    Wire.endTransmission(false);
    Wire.requestFrom(MPU_addr,14,true);
    AcX=Wire.read()<<8|Wire.read();
    AcY=Wire.read()<<8|Wire.read();
    AcZ=Wire.read()<<8|Wire.read();
    int xAng = map(AcX,minVal,maxVal,-90,90);
    int yAng = map(AcY,minVal,maxVal,-90,90);
    int zAng = map(AcZ,minVal,maxVal,-90,90);
    x= RAD_TO_DEG * (atan2(-yAng, -zAng)+PI);
    y= RAD_TO_DEG * (atan2(-xAng, -zAng)+PI);
    z= RAD_TO_DEG * (atan2(-yAng, -xAng)+PI);
}

```

9.5. FUNCIO IMPRIMIR

```

// Funcio que imprimeix variables
void prints() {

    // Impressió de les variables al port serie del ordenador.
    Serial.print(("Data:  "));
    Serial.print(dia3);
    Serial.print("/");
    Serial.print(mes3);
    Serial.print("/");
    Serial.println(any3);
    Serial.print(("Hora:  "));
    Serial.print(hora3);
    Serial.print(":");
    Serial.println(minut3);
    Serial.print("Orientació: ");
    Serial.println(angleplaca);
    Serial.print("Angle:  ");
    Serial.println(y);
    Serial.print("Altura: ");
    Serial.println(altitud);
    Serial.print("Azimut: ");
    Serial.println(azimuth);
    Serial.println();

    // Impressió de les variables al port serie Bluetooth.
    SerialBT.print(("Data:  "));
    SerialBT.print(dia3);
    SerialBT.print("/");
    SerialBT.print(mes3);
    SerialBT.print("/");
}

```

```

    SerialBT.println(any3);
    SerialBT.print(("Hora:  "));
    SerialBT.print(hora3);
    SerialBT.print(":");
    SerialBT.println(minut3);
    SerialBT.print("Orientació: ");
    SerialBT.println(angleplaca);
    SerialBT.print("Angle:  ");
    SerialBT.println(y);
    SerialBT.print("Altura: ");
    SerialBT.println(altitude);
    SerialBT.print(" Azimut: ");
    SerialBT.println(azimuth);
    SerialBT.println();
}

void printsgirant() {

    Serial.print("Orientació: ");
    Serial.println(angleplaca);
    Serial.print("Azimut: ");
    Serial.println(azimuth);
    Serial.println();
    SerialBT.print("Orientació: ");
    SerialBT.println(angleplaca);
    SerialBT.print(" Azimut: ");
    SerialBT.println(azimuth);
    SerialBT.println();

}

void printsinclinant() {

    Serial.print("Angle:  ");
    Serial.println(y);
    Serial.print("Altura: ");
    Serial.println(altitude);
    Serial.println();
    SerialBT.print("Angle:  ");
    SerialBT.println(y);
    SerialBT.print("Altura: ");
    SerialBT.println(altitude);
    SerialBT.println();

}

```

9.6. TAULA DE VALORS

```

//Aquesta part del codi converteix la data actual en el dia total del
any començant el 1 de gener
float daynum(float month){
    float day;
    if (month == 1){day=0;}

```



```

    if (month == 2){day=31;}
    if (month == 3){day=59;}
    if (month == 4){day=90;}
    if (month == 5){day=120;}
    if (month == 6){day=151;}
    if (month == 7){day=181;}
    if (month == 8){day=212;}
    if (month == 9){day=243;}
    if (month == 10){day=273;}
    if (month == 11){day=304;}
    if (month == 12){day=334;}
    return day;
}

int dayToArrayNum(int day){
    if ((day == 1) || (day == 2) || (day == 3)){day = 0;}
    if ((day == 4) || (day == 5) || (day == 6)){day = 1;}
    if ((day == 7) || (day == 8) || (day == 9)){day = 2;}
    if ((day == 10) || (day == 11) || (day == 12)){day = 3;}
    if ((day == 13) || (day == 14) || (day == 15)){day = 4;}
    if ((day == 16) || (day == 17) || (day == 18)){day = 5;}
    if ((day == 19) || (day == 20) || (day == 21)){day = 6;}
    if ((day == 22) || (day == 23) || (day == 24)){day = 7;}
    if ((day == 25) || (day == 26) || (day == 27)){day = 8;}
    if ((day == 28) || (day == 29) || (day == 30) || (day ==
31)){day = 9;}
    return day;
}

//Aquí tenim la taula de angles horaris d'apogeu.

float FindH(int day, int month){
float h;

    if (month == 1){
        float h_Array[10]={
            -1.038,-1.379,-1.703,-2.007,-2.289,-2.546,-2.776,-2.978,-
3.151,-3.294,};
        h = h_Array[day];}

    if (month == 2){
        float h_Array[10]={
            -3.437,-3.508,-3.55,-3.561,-3.545,-3.501,-3.43,-3.336,-
3.219,-3.081,};
        h = h_Array[day];}

    if (month == 3){
        float h_Array[10]={
            -2.924,-2.751,-2.563,-2.363,-2.153,-1.936,-1.713,-1.487,-
1.26,-1.035,};
        h = h_Array[day];}

    if (month == 4){
        float h_Array[10]={
            -0.74,-0.527,-0.322,-
0.127,0.055,0.224,0.376,0.512,0.63,0.728,};
        h = h_Array[day];}

```

```

        if (month == 5){
            float h_Array[10]={
                0.806,0.863,0.898,0.913,0.906,0.878,0.829,0.761,0.675,0.57
1,};
            h = h_Array[day];}

        if (month == 6){
            float h_Array[10]={
                0.41,0.275,0.128,-0.026,-0.186,-0.349,-0.512,-0.673,-
0.829,-0.977,};
            h = h_Array[day];}

        if (month == 7){
            float h_Array[10]={
                -1.159,-1.281,-1.387,-1.477,-1.547,-1.598,-1.628,-1.636,-
1.622,-1.585,};
            h = h_Array[day];}

        if (month == 8){
            float h_Array[10]={
                -1.525,-1.442,-1.338,-1.212,-1.065,-0.9,-0.716,-0.515,-
0.299,-0.07,};
            h = h_Array[day];}

        if (month == 9){
            float h_Array[10]={
                0.253,0.506,0.766,1.03,1.298,1.565,1.831,2.092,2.347,2.593
,};
            h = h_Array[day];}

        if (month == 10){
            float h_Array[10]={
                2.828,3.05,3.256,3.444,3.613,3.759,3.882,3.979,4.049,4.091
,};
            h = h_Array[day];}

        if (month == 11){
            float h_Array[10]={
                4.1,4.071,4.01,3.918,3.794,3.638,3.452,3.236,2.992,2.722,}
;
            h = h_Array[day];}

        if (month == 12){
            float h_Array[10]={
                2.325,2.004,1.665,1.312,0.948,0.578,0.205,-0.167,-0.534,-
0.893,};
            h = h_Array[day];}

return h;
}

```

9.7. FUNCIO ORIENTACIÓ

```
// Funció que realitz'a les operacions d'orientació

void orientacio(){
    int c=0;
    auto tempalarm = timer_create_default(); // Declarem un
temporitzador d'alarma
    tempalarm.every(300000, alarmtemps);

    plegar= digitalRead(pinplegar);//Llegim els pins de plegat
d'emergencia.

    if((plegar==HIGH)&&(controlremot == false)) {
        funcioplegar();
    }

//orientacio azimuth:

    while (((angleplaca < azimuth - 5) || (angleplaca > azimuth + 5)) &&
(controlremot == false) && (plegar == LOW) ) {
        DateTime now = rtc.now();
        solpos(now);
        seguipos();
        remot();
        plegar = digitalRead(pinplegar);
        printsgirant();

        if (angleplaca < azimuth - 5 )
        {
            girardreta();
        }

        if (angleplaca > azimuth + 5 )
        {
            giraresquerra();
        }

        tempalarm.tick();
    }
    pararmotors();

//orientacio zenith:
    while (((y < altitude - 5 ) || (y > altitude + 5)) && (controlremot
== false)&& (plegar == LOW)) {
        DateTime now = rtc.now();
        solpos(now);
        seguipos();
        remot();
        printsinclinant();
        plegar = digitalRead(pinplegar);
    }
```

```

    if ((y < altitude - 5 )&&(y!=225))
    {
        baixarseguidor();
        Serial.println("Control remot baixant la placa!");
    }

    if ((y > altitude + 5 )&&(y!=225))
    {
        pujarseguidor();
        Serial.println("Control remot pujant la placa!");
    }

    if (inc=225)
    {
        c=c+1;
        SerialBT.println("sensor desconectat GY-521");
        if (c==10){
            pararmotors();
            c=0;
        }
    }

    tempalarm.tick();
}
pararmotors();
if (controlremot==false) {
    pararmotors();
}
}

```

9.8. FUNCIO CONTROL MOTORS

```

// En aquesta part del codi tenim les funcions que governen els
motors.
//IMPORTANT LOGICA NEGATIVA exepte en el led de moviment
void girardreta(){

    digitalWrite(moviment,HIGH);
    digitalWrite(bomba, LOW);
    digitalWrite(valdreta, LOW);
    digitalWrite(valesquerra, HIGH);
    digitalWrite(valamunt, HIGH);
    digitalWrite(valavall, HIGH);

}

```

```

void giraresquerra(){

    digitalWrite(moviment, HIGH);
    digitalWrite(bomba, LOW);
    digitalWrite(valdreta, HIGH);
    digitalWrite(valesquerra, LOW);
    digitalWrite(valamunt, HIGH);
    digitalWrite(valavall, HIGH);

}

void pujarseguidor(){

    digitalWrite(moviment, HIGH);
    digitalWrite(bomba, LOW);
    digitalWrite(valdreta, HIGH);
    digitalWrite(valesquerra, HIGH);
    digitalWrite(valamunt, LOW);
    digitalWrite(valavall, HIGH);
}

void baixarseguidor(){

    digitalWrite(moviment, HIGH);
    digitalWrite(bomba, LOW);
    digitalWrite(valdreta, HIGH);
    digitalWrite(valesquerra, HIGH);
    digitalWrite(valamunt, HIGH);
    digitalWrite(valavall, LOW);
}

void pararmotors(){

    digitalWrite(moviment, LOW);
    digitalWrite(bomba, HIGH);
    digitalWrite(valdreta, HIGH);
    digitalWrite(valesquerra, HIGH);
    digitalWrite(valamunt, HIGH);
    digitalWrite(valavall, HIGH);
}

```

9.9. FUNCIONS TEMPORITZADORS

```

// Aquí tenim les funcions que s'executen cada vegada que s'activa un
temporitzador.
bool temporitzador1(void *) { //Aquest temporitzador crida la
sequencia d'orientacio cada certa estona
    DateTime now = rtc.now();
    solpos(now);
    seguipos();
    prints();
    orientacio();
    return true;
}

```

```

bool alarmatemp(void *) { // Si aquest temporitzador s'arriba a
disparar, es paren els motors per protegir els sistemes.
    Serial.print("ALARMA! Els Sistemes de Orientació no
responen!");
    alarmatemp=true;
    while (alarmatemp==true)
    {
        pararmotors();
        remot();

    }
    return true;
}

bool bluetoothtemp(void *) { //temporitzador que comprova si arriben
comandes per el port serie bluetooth
    remot();
    return true;
}

```

9.10. FUNCIO PLEGAR PLACA

```

//funcio per plegar la placa
void funcioplegar(){
    while((controlremot == false) && (angleplaca > 89)) {
        giraresquerra();
        seguipos();
        remot();
        SerialBT.println("Plegant el seguidor GIRANT");
    }

    while((controlremot == false) && (y < 350)) {
        pujarseguidor();
        seguipos();
        remot();
        SerialBT.println("Plegant el seguidor INCLINANT");
    }
    pararmotors();
}

```